

# Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Pavel Fiala**

Studijní program:

N2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor:

2109T033 Slévárenské technologie

Téma:

Vliv nátěru na jakost ocelových odlitků odlévaných do furan-  
chromitových směsí  
Influence of coatings on steel casting quality poured into furan-chromite  
mixtures

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Cíl diplomové práce.
3. Literární rešerše.
4. Druhy použitelných nátěrů na danou technologii.
5. Technika nanášení a podmínky sušení forem.
6. Vlastní experimenty, vyhodnocení.
7. Diskuse výsledků, splnění cílů.
8. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] REINDL, H.: *Giesserei - Erfahrungsaustausch*. 2010, Nr. 1/2, s. 18 - 24.
- [2] STÖTZEL, R.; KOCH, CH.: *Giesserei - Praxis*. 2006, 3, s. 100 - 104.
- [3] SCHUTZE, N.: *Giesserei - Erfahrungsaustausch*. 2007, 11, s. 33 - 38.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vlasta Bednářová, CSc.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Alena Fabiánová

Datum zadání: 15.09.2010

Datum odevzdání: 29.04.2011

prof. Ing. Tomáš Elbel, CSc.

*vedoucí katedry*

prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.

*děkan fakulty*

# Zásady pro vypracování diplomové práce

## I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

Uspořádání diplomové práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 5. Obsah DP                  |
| 2. Zásady pro vypracování DP                 | 6. Textová část DP           |
| 3. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 7. Seznam použité literatury |
| 4. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 8. Přílohy                   |

ad 1) Titulním listem je originál zadání DP, který student obdrží na své oborové katedře.

ad 2) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za titulním listem.

ad 3) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (student jej obdrží na své oborové katedře) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. *V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právníké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.*

ad 4) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 5) Obsah DP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 6) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 8). Odborná

terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen – u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 7) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazycích.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 8) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství  
Katedra .....*

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

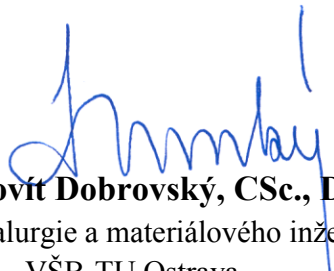
dole: *Rok Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON včetně abstraktu a klíčových slov v češtině a angličtině.

### IV.

Diplomová práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2010/2011.

Ostrava 30. 11. 2010

  
**Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.**  
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně.**

V Ostravě .....

.....  
podpis (jméno a příjmení studenta)



## **Abstrakt**

Práce se zabývá výzkumem ochranných žáruvzdorných korundových a zirkonových nátěrů určených pro odlévání těžkých ocelových odlitků do furan-chromitových směsí. Cílem bylo vyhodnocení všech použitých nátěrů z hlediska kvality a povrchové jakosti odlitků. Výstupem diplomové práce jsou zkušenosti s používáním a posouzení vhodnosti aplikace zkoumaných nátěrů.

### **Klíčová slova**

Žáruvzdorný nátěr, ocelové odlitky, furanové směsi, korund, zirkon, chromitový a křemenný písek, připečeniny, plynové vady.

## **Abstract**

Diploma thesis deals with the research of protective refractory, alumina and zircon coatings designed for casting heavy steel castings furan-chromite mixtures. The main target was to evaluate all the coatings in terms of quality and surface quality of castings. Outputs of this thesis are the experience with the use and assessment of the suitability of coatings investigated.

### **Key words**

Heat-resistant coating, steel castings, furan compounds, corundum, zircon, chromite and silica sand, sand burn, gas defects.

## **Poděkování**

Děkuji tímto doc. Ing. Vlastě Bednářové, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji tímto rovněž Ing. Aleně Fabiánové za konzultace a obětavost při poskytování informací. Poděkování patří také slévárně Vítkovice Heavy Machinery a.s., která umožnila experiment provést ve svém prostředí.

## Seznam použitých zkratek a veličin

ASTM	Normy ASTM - American Society For Testing And Materials	
cca	Cirka	
ČSN	Československá norma	
F	Plocha průřezu	[cm <sup>-2</sup> ]
g	Gravitační zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
Gd	Prodyšnost	[m <sup>2</sup> .Pa <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]
GHS	Globally Harmonized System	
G.U.T.	Giesserei - Umwelt Technik GmbH	
p	Tlak	[MPa]
pH	Kyselost (vodíkový exponent)	[-]
PGD	Preimplantation Genetic Diagnosis	
PTS	Kyselina paratoluensulfonová ( C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> S )	
Q	Množství proudícího vzduchu	[cm <sup>-3</sup> ]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
ST	Samotrvdnoucí	
SZ	Střední zrno d <sub>50</sub>	[mm]
T	Termodynamická teplota	[K]
T <sub>tavení</sub>	Teplota tavení	[°C]
VHM	Vítkovice Heavy Machinery, a.s.	
V <sub>NK</sub>	Objem nosné kapaliny	[m <sup>3</sup> ]
V <sub>PL</sub>	Objem plniva	[m <sup>3</sup> ]
W <sub>S</sub>	Rychlost sedimentace	[m.s <sup>-1</sup> ]
y	Povrchové napětí	[N.m <sup>-1</sup> ]
μ <sub>NK</sub>	Dynamická viskozita nosné kapaliny	[kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]
ρ	Hustota	[g.cm <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>PL</sub>	Hustota plniva	[kg.m <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>NK</sub>	Hustota nosné kapaliny	[kg.m <sup>-3</sup> ]

# OBSAH

Abstrakt .....	1
Poděkování .....	6
Seznam použitých zkratk a veličin .....	7
OBSAH.....	8
1 ÚVOD.....	10
2 CÍL PRÁCE.....	11
3 FORMOVACÍ SMĚSI POUŽÍVANÉ VE VHM.....	12
3.1 Popis ostríva používaného ve VHM.....	12
3.1.1 Chromit.....	13
3.1.2 Křemenný písek.....	14
3.2 Popis pojiva používaného ve VHM.....	15
3.2.1 Pyskyřice .....	16
3.2.2 Aktivátor – kyselina paratoluensulfonová (PTS) .....	17
3.3 Regenerace formovacích směsí .....	18
4 NÁTĚR JAKO PROSTŘEDEK PROTI VZNIKU POVRCHOVÝCH VAD.....	20
4.1 Nejčastější vady odlitků .....	21
4.1.1 Připečeniny .....	21
4.2 Důležité vlastnosti ochranných materiálů.....	23
4.3 Struktura nátěrů .....	25
4.4 Rozdělení nátěrů .....	26
4.4.1 Rozdělení podle skupenství.....	26
4.4.2 Rozdělení podle typu použití.....	27
4.5 Základní složky nátěrů .....	28
4.5.1 Plniva.....	28
4.5.2 Nosná kapalina .....	32
4.5.3 Pojiva.....	33

4.5.4	Přísadové látky .....	35
4.6	Aplikace nátěru.....	36
4.7	Použití nátěru ve slévárnách .....	37
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	39
5.1	Charakteristika použitých nátěrů .....	39
5.2	Korundový nátěr .....	41
5.2.1	Typy použitých korundových nátěrů .....	42
5.3	Zirkonový nátěr .....	44
5.3.1	Typy použitých zirkonových nátěrů .....	45
5.4	Vlastní experiment.....	47
5.4.1	Odlitek A1 .....	47
5.4.2	Odlitek A2 a A3.....	49
5.4.3	Odlitek A4 až A7.....	52
5.4.4	Odlitek A8 až A11 .....	56
5.4.5	Odlitek A12 .....	60
5.4.6	Odlitek A13 .....	62
5.4.7	Odlitek A14 .....	64
5.4.8	Odlitek A15 .....	66
5.5	Zařazení povrchových vad dle norem .....	69
5.5.1	Vyhodnocení lihových nátěrů.....	70
5.5.2	Vyhodnocení vodních nátěrů.....	71
6	SHRNUTÍ A ZÁVĚR.....	73
	Seznam použité literatury .....	74
	Seznam obrázků a tabulek .....	77
	Seznam příloh .....	80
	Přílohy .....	81

# 1 ÚVOD

Hlavní činností slévárenské výroby a tedy výsledek práce je odlitek, jehož výsledná kvalita je více než v jiných odvětvích ovlivněna lidským faktorem. Velký nedostatek kvalifikovaných a zkušených pracovníků, kteří nechtějí vykonávat technickou a fyzicky náročnou práci se odráží na výsledné kvalitě odlitků, které jsou velice často postihnuty vadami. Porozuměním chování taveniny v dutině formy při metalurgických operacích, odlévání a tuhnutí je klíčovou podmínkou. Pochopením těchto velmi složitých dějů, které jsou ovlivněny působením více činitelů a jejich vzájemným ovlivňováním, vede k navržení optimálního opatření pro výrobu kvalitního odlitku.

Předložená diplomová práce vznikala v prostorách slévárny oceli společnosti Vítkovice Heavy Machinery, a.s. (dále jen VHM), která je tradičním výrobcem těžkých ocelových odlitků, jejichž maximální tekutá hmotnost dosahuje až 300 tun.

Při výrobě těžkých ocelových odlitků je nutné řešit problémy spojené s dlouhou dobou tuhnutí a chladnutí. Doba tuhnutí se pohybuje v desítkách hodin, doba chladnutí až v desítkách dní. V důsledku dlouhodobého tuhnutí a tepelného působení mohou vznikat různé druhy penetrací, které se špatně odstraňují.

Neustálé zvyšování požadavků zákazníků na povrchovou jakost, nutí slévárny stále zvyšovat kvalitu svých výrobků a volba kvalitního ochranného nátěru je nezbytně nutná. V dnešní době není možné používat formu bez nátěru. Žáruvzdorný ochranný nátěr používáme proto, aby odolal složitému termo-mechanicko-chemickému namáhání a aby v co největší míře ochránil odlitek před případnými připečeninami.

## 2 CÍL PRÁCE

Náplní této diplomové práce bylo ověřit a vyhodnotit vliv žáruvzdorného ochranného nátěru na výslednou jakost povrchu odlitků ve VHM u samotvrdnoucích furanových směsí s chromitovým a křemenným ostrživem. Hlavním cílem bylo zabránit vzniku připečenin.

„Ideální“ nátěr má splňovat tyto požadavky:

- chránit formu (jádro) před mechanickým účinkem kovu
- chránit povrchovou vrstvu před chemickými reakcemi forma – kov
- chránit před tepelnými účinky kovu
- mechanicky zpevnit povrchové a podpovrchové vrstvy formy
- hladké oddělení kovu od písku

V našem případě byl líc formy opatřován žáruvzdorným nátěrem, který je při odlévání a tunutí vystaven složitému termo-mechanicko-chemickému namáhání. Celkem bylo vyzkoušeno osm různých nátěrů na patnácti tvarově odlišných odlitcích. Účinnost nátěrů a tedy povrchová jakost, byla podrobně analyzována a vyhodnocována. Objevené vady a nedostatky ve výrobě posléze analyzovat, určit příčiny vzniku a typy vad. Smyslem práce bylo určit optimální kombinaci nátěru, z hlediska nosné kapaliny a plniva pro použití v provozních podmínkách výroby odlitků ocelárny VHM.

### 3 FORMOVACÍ SMĚSI POUŽÍVANÉ VE VHM

Ve slévárně oceli VHM se používají furanové formovací směsi s křemenným a chromitovým ostřivem. Patří do skupiny slévárenských pojivových směsí II. generace. Výhoda samotvrdnoucích furanových směsí je především v ekonomice – rychlost přípravy forem (jader), jejich výborná jakost (projevující se následně i dobrou kvalitou odlitků) a výborná rozpadavost směsi po odlití má bezprostřední příznivý dopad na výrobní náklady. Tyto ekonomické výhody jsou však doprovázeny nepříznivými dopady na hygienu pracovního prostředí ve slévárnách a ochranu životního prostředí obecně. Při použití organických pryskyřic vzniká 30 – 40 % většinou toxických produktů ve formě plynů nebo pevných zbytků tepelné destrukce, značná část produktů destrukce zůstává v upotřebené „odpadní“ směsi [2].

Formovací směsi s vysokým chladicím účinkem využíváme zejména při výrobě náročných odlitků z nízkolegované uhlíkaté oceli vysoce náchylné ke vzniku trhlin [3].

#### 3.1 Popis ostřiva používaného ve VHM

Ostřivo má hlavní objemové i hmotnostní zastoupení ve formovací směsi. Jedná se o zrnitý žárovzdorný materiál, který tvoří materiálový skelet forem a jader.

Podle chemické povahy ostřiva rozdělujeme na:

- kyselá (křemenné písky)
- neutrální (šamot, olivín, korund, chromit)
- zásaditá (magnezit, chrommagnezit)

S ohledem na jakost povrchu odlitků je nutno zajistit minimální obsah prachových podílů pod 0,1 mm. Vzhledem k „rozpraskání“ zrn vlivem dlouhodobého tepelného namáhání v průběhu tuhnutí byla stanovena velikost středního zrna  $d_{50}$  na hodnotu minimálně  $0,32 \pm 0,03$  mm [4].



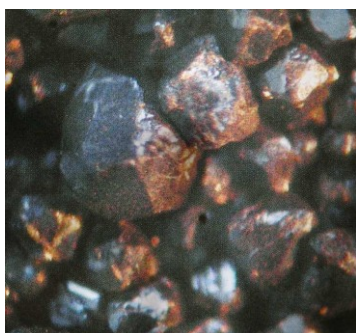
### 3.1.1 Chromit

Chromit představuje tuhý roztok chromitu  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ , picrochromitu  $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  (magnesiochromit) a spinelu  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . Podle obsahu chromu jsou chromity členěny na chromity s vysokým obsahem chromu tzv. chromity chemické, a chromity s nízkým obsahem chromu, ale s vyšším obsahem hliníku na tzv. chromity keramické (metalurgické), které jsou využívány pro slévárenské účely. Chromitová primární zrna mají polyedrický tvar, jsou hladká, černá až grafitová [5].

S ohledem na vysoký stupeň tepelné destrukce chromitového ostříva, které je dlouhodobě vystaveno teplotám nad  $1\,400\text{ }^\circ\text{C}$ , vyplývají zvýšené požadavky jednak na kvalitu dodávky nového chromitu, jednak na kvalitu regenerátu. V průběhu přípravy chromitové formovací směsi se regenerovaný chromit oživuje 35 % (na jádra) a 28 % (na formu) nového ostříva.

Nekřemenné ostřívo chromit, se pro svoji vyšší žáruvzdornost a ochlazovací účinek (odolnost proti penetraci kovu) používá pro formy a jádra masivních odlitků. Dále se používá ve slévárnách ocelových odlitků k zabránění penetrace z uhlíkových i legovaných ocelí. Vzhledem k vysoké ceně chromitového ostříva, se často používá jen na tepelně exponovaná místa forem a výrobu jader, zbytek formy je tvořen křemenným ostřivem.

Chromit je dovážen z Jihoafrické pánve (Transvaal) viz obr. 1 a 2. Požadavky VHM na chromitový písek jsou uvedeny v příloze 1.



Obr. 1. Chromitové ostřívo [7]



Obr. 2. Chromitové ostřívo [7]

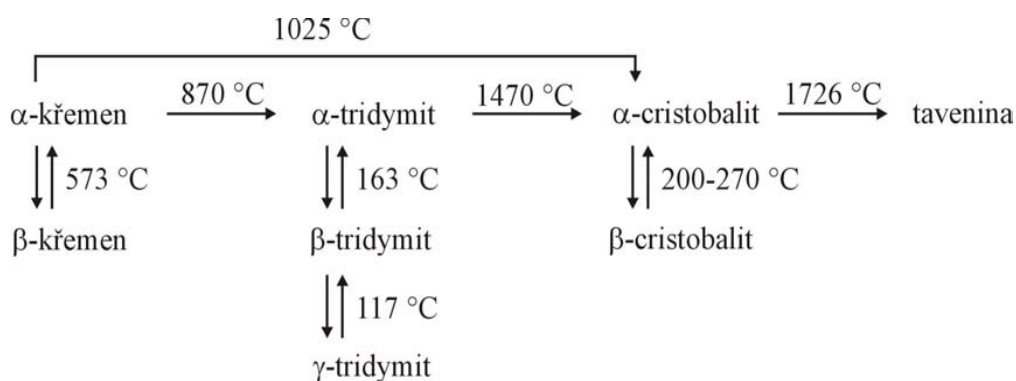
### 3.1.2 Křemenný písek

Křemenné písky patří k nejekonomičtějšimu a tedy i nejrozšířenějšimu ostřivu pro přípravu směsí. Křemen krystalizuje v soustavě trigonálně trapezodrické, tvrdost má 7, měrná hmotnost se pohybuje v mezích 2 620 – 2 660 kg/m<sup>3</sup> [5].

Oxid křemičitý je základní surovinou formovacích hmot. Je nejrozšířenějším minerálem v přírodě a má vhodnou zrnitost. Jeho teplota tání je nad 1700 °C, takže je vhodný pro výrobu forem k odlévání většiny slévárenských slitin.

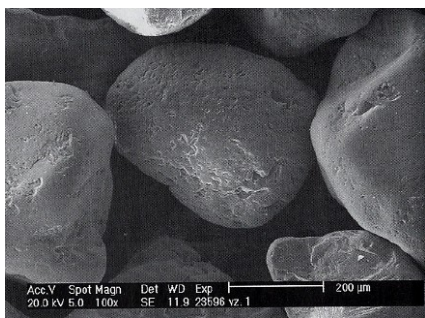
Vedle těchto příznivých vlastností má SiO<sub>2</sub> i vlastnosti méně vhodné. Při ohřevu prodělává polymorfní přeměny, které se projevují objemovými změnami a poruchami celistvosti formy. Křemen je sloučenina vysloveně kyselá, která reaguje se zásaditými látkami. Tyto reakce jsou pak příčinou snížené žáruvzdornosti. Křemenný prach vyvolává silikózu, která je velmi vážným onemocněním.

Oxid křemičitý je znám v různých polymorfních modifikacích viz obr. 3 a jejich vzájemné přeměny jsou doprovázeny objemovými změnami [8].

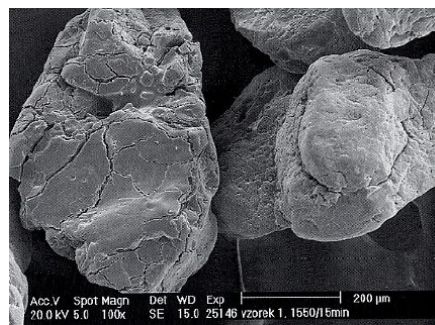


Obr. 3. Modifikační přeměny oxidu křemičitého [8]

Křemenný písek dováží z pískovny „Grudzeń Las“ v Polsku, který je už předem vysušený. Vysoká teplotní odolnost ostřiva min. 1 550 °C viz obr. 4 a 5, umožňuje použití písků pro odlévání všech kovů včetně oceli [9].



Obr. 4. Tvar a povrch zrna Grunden Las [9]



Obr. 5. Zrna po žhání na teplotě 1 550 °C [9]

Jelikož se ve VHM odlévají mnoha tunové odlitky, snaží se o co největší prodyšnost formovací směsi. Dovází se co největší průměr zrna  $d_{50} = 0,35$  až  $0,40$  mm, které má značení GL 35. Na každé oživení formovací směsi se běžně používá 10 % na formu a 5 % na jádra nového křemenného písku. Požadavky VHM na křemenný písek jsou uvedeny v příloze 2.

### 3.2 Popis pojiva používaného ve VHM

VHM používá samotvrdnoucí (ST) furanové směsi. Vytvrzování, polykondenzace furanové pryskyřice probíhá za působení kyselého katalyzátoru kyseliny paratoluensulfonové (PTS -  $C_7H_8O_3S$ ) termickým procesem.

Reakce vytvrzování je exotermická, vzniká voda. Ta se musí odpařit, tento proces probíhá od povrchu směrem dovnitř jader. Při výrobě velkých forem a jader se doporučuje obsušování horkým vzduchem. Průběh vytvrzování je doprovázen změnou barvy směsi (z bílé na tmavě zelenou až černou) [2].

Výhody pojiva [2]:

- samotvrdnoucí směr
- vysoká pevnost
- možnost zhotovení tvarově složitých kusů
- dlouhodobá skladovatelnost
- snadná regenerovatelnost
- vysoká rozpadavost po odlití

### 3.2.1 Pryskyřice

Podle rychlosti vytvrzování VHM používá v letním období pomalejší pryskyřici U204 TN 022 a v zimním rychlejší pryskyřici X850 TN 011 viz obr. 6. Dávkování pryskyřice je uvedeno v tab. 1. Průměrné dávkování pryskyřice pro litou, silnostěnnou ocel je  $1,0 \% \pm 0,2$ . Dávkování pryskyřice ovlivňuje pevnost formy a průběh vytvrzování [10].

Tabulka 1. Dávkování pryskyřice [10]

Množství pryskyřice	Podmínky použití
1,0 ... 1,2 hmot.dílu	Směsi nového písku
0,8 ... 1,0 hmot.dílu	Dílu Směsi regenerátu
< 0,5 hmot.dílu	Nedostatečná pevnost
< 0,8 hmot.dílu	Formy a jádra jsou drobnivé (závislost na kvalitě regenerátu)
> 1,2 hmot.dílu	Pouze pro extrémně vysoké hodnoty pevnosti v ohybu

Od 1. prosince 2010 bylo mnoho chemických produktů, mimo jiné i slévarenských chemikálií, nově klasifikováno a některé z nich, konkrétně čisté látky, ne směsi, musí být také podle nového systému GHS (Globally Harmonized System) označeny odpovídajícími novými piktogramy viz obr. 7 (Piktogram pro označování furanové pryskyřice - směs, nečistá látka, platí do r. 2014) [11]



a)



b)



Obr. 7. Piktogram [11]

Obr. 6. Pryskyřice Kalharz: a) letní - U204 TN 022,  
b) zimní - X850 TN 011

### 3.2.2 Aktivátor – kyselina paratoluensulfonová (PTS)

Opět v závislosti na období se používají dva druhy aktivátoru, pro pomalejší vytvrzování na léto typ 100 T5D a rychlejší na zimu typ 500 T1 viz obr. 8. Platí, že čím méně furfurylalkoholu, tím pomalejší vytvrzování. Dávkování standardní směsi pro kyselinové aktivátory je uvedeno v tab. 2. Se stoupajícím podílem kyselinového aktivátoru, se do vratného písku dostává více síry. Stoupá obsah vyplavitelných látek vratného písku, ztráta žíháním vratného písku. Klesá doba zpracovatelnosti a doba rozebírání směsi. U PTS je nižší nebezpečí vzniku bodlin, ale zvýšení tendence vzniku výronků [10].

Tabulka 2. Dávkování aktivátoru [10]

Množství aktivátoru	Podmínky použití
0,3 až 0,5 hmot. dílu	Směsi s novým pískem
0,2 až 0,4 hmot. dílu	Směsi s regenerátem
< 0,2 hmot. dílu	Neúplné obalení zrn písku

Nové značení kyseliny paratoluensulfonové související s bezpečnostními listy (od 1. 12. 2010) je uvedeno na obr. 8 [11].



a)



b)



c)

Obr. 8. Aktivátor: a) letní - 100 T5D, b) zimní - 500 T1, c) Piktogram pro označování PTS [11]



### 3.3 Regenerace formovacích směsí

Smyslem regenerace je odstranit zbytky pojiva (v různém stupni znehodnocení způsobené teplem odlévaného kovu) a jiných nečistot tak, aby mohlo být ostřivo opětovně použito ve výrobním procesu. Regenerace formovacích směsí představuje technologický proces zpětného získávání podstatné části ostřiva z použité směsi pro další přípravu formovacích a jádrových směsí.

Příkladem takového typu zařízení je regenerační zařízení G.U.T. (Giesserei-Umwelt Technik GmbH), které se používá ve VHM viz obr. 9, 12 a 13, provádí čtyřstupňovou regeneraci chromitu z furanové směsi za současné separace křemenného písku:

- 1. stupeň – silný magnet viz obr. 10
- 2. stupeň – fluidní lože viz obr. 11
- 3. stupeň – síto
- 4. stupeň – slabí magnet



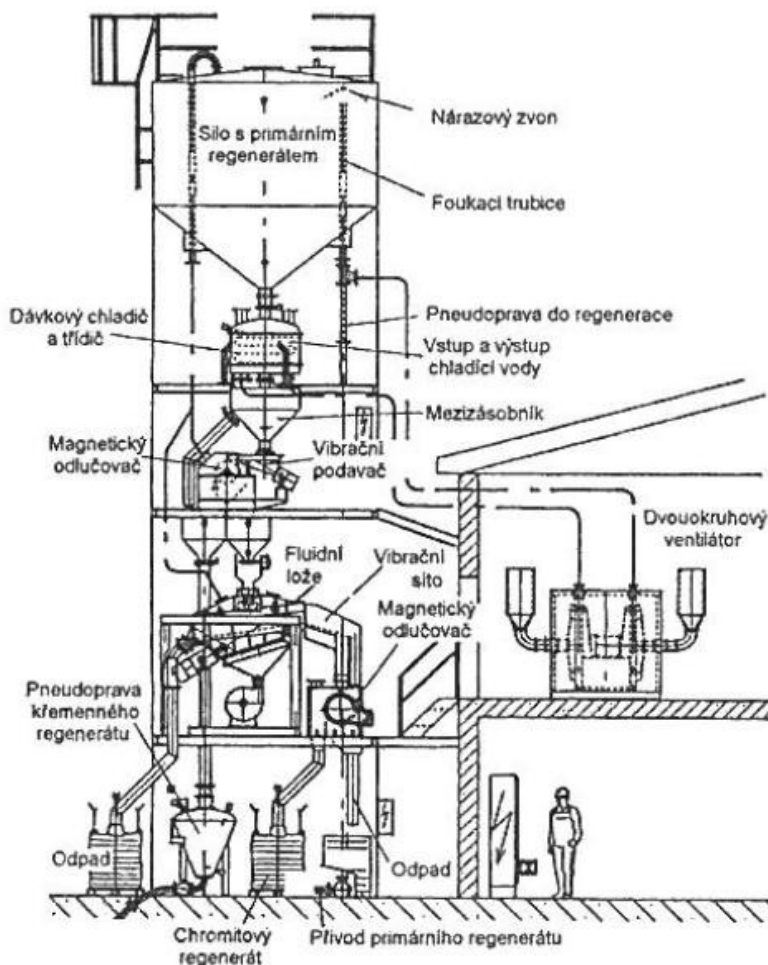
Obr. 9. Zásobníky křemičitého a chromitového písku



Obr. 10. Magnetická separace



Obr. 11. Fluidní lože



Obr. 12. Schéma zařízení regenerace G.U.T. [12]



Obr. 13. Zařízení G.U.T.

Vratná furanová směs po rozdrcení a odmagnetování kovových částic přichází do regenerační jednotky, kde nastává otírka zbytků pojiva o litinový (ocelový) zvon. Otřená směs ostřiv přichází na první stupeň magnetické separace. Chromit jako paramagnetický je přidržován permanentním magnetem na pásu, křemenný písek je vrhán dál za hradítko a tak oddělován od chromitu. Pak chromit přichází na fluidní lože, kde dochází ke konečnému otěru zbytků pojiva. Na základě rozdílné hustoty jsou odděleny další podíly cizích materiálů (z obložení nálitků, vtokové šamotové soustavy) i křemen a těžší chromit postupuje do druhého stupně separace, kde se chromit oddělí od posledních cizích materiálů. Čistotu jednotlivých frakcí regenerátu můžeme kontrolovat pomocí sypné hmotnosti. U forem a jader masivních odlitků je přípustná koncentrace  $\text{SiO}_2$  v chromitu max. 2 až 2,5 %.

## 4 NÁTĚR JAKO PROSTŘEDEK PROTI VZNIKU POVRCHOVÝCH VAD

Nátěry jsou žáruvzdorné materiály používané v kapalně nebo kašovitě formě, které vytvářejí povlak a zároveň ochrannou bariéru mezi roztaveným kovem a formou nebo jádrem.

Prvořadý význam žáruvzdorného nátěru je zabránit penetraci tekutého kovu do formy, to se projeví na kvalitě povrchu odlévaného odlitku [13].

Tyto povlaky mají různé úkoly [14]:

- tepelná izolace
- odolnost proti otěru
- hladkost povrchu
- hladké oddělení kovu od písku
- bariera proti plynům z formy

Slévárenské žáruvzdorné nátěry jsou jednou z mnoha možností slévárenských technologií, jak lze dosáhnout vyšší povrchové jakosti odlitku. Hlavní podmínkou kvalitní funkce nátěru je dostatečná přítomnost aktivních látek, které budou příznivě ovlivňovat složité termo-mechanicko-chemické procesy probíhající na fázovém rozhraní forma-tavenina, tj.:

- zabránění pronikání roztaveného kovu do pórů formy (jádra) a zabránit tak případným povrchovým vadám jako jsou dle ČSN 42 1240 skupiny vad číslo 200 [15]
- umožnit čisté oddělení odlitého kovu od dílů formy či jádra
- zabránit vzniku nízkotavitelných sloučenin a zpevňovat povrch formy (jádra)
- optimalizovat povrch odlitků

Neméně důležitým faktorem žáruvzdorných nátěrů jsou i ekologická hlediska jejich výroby. V poslední době se zejména Evropská Unie zajímá o používané materiály a to s ohledem na bezpečnost práce a hygieny v provozních podmínkách. Podstatná je samozřejmě také cena [16].



## 4.1 Nejčastější vady odlitků

Většina sléváren bojuje s těmito druhy vad [14],[17]:

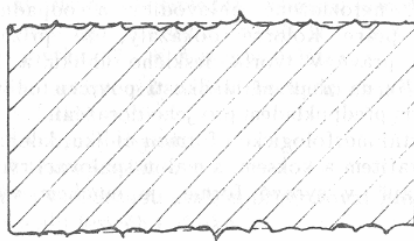
- výronky
- připečeniny
- drsný povrch
- zálupy
- plynové vady a vývin reakčních zplodin
- struskové vady
- eroze

Příznivé dopady používáním nátěrů jsou již dlouhodobě známé. Producenti žáruvzdorných nátěrů uvádějí, že nesprávný výběr nátěru může vést ke zvýšeným dodatečným nákladům na apreturu, či se projevit ve vyšší zmetkovitosti, jejíž podíl na výrobních nákladech může být i 5 až 10 %. Přičemž náklady spojené s ošetřením forem či jader činí přibližně 1 % [18].

### 4.1.1 Připečeniny

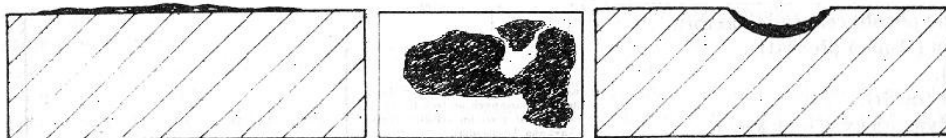
Připečeniny se podle mechanismu vzniku a rozsahu člení na [19]:

- a) Drsný povrch (211) - vada je způsobena dokonalým smočením – přilnutím taveniny k lici slévárenské pískové formy do hloubky asi poloviny průměru zrna ostřiva. Vrstva písku, přilehlá k povrchu odlitku, se lehce odděluje, viz obr. 14.



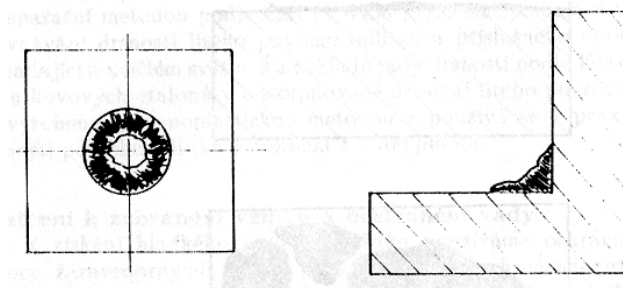
Obr. 14. Drsný povrch [15]

- b) Povrchové připečeniny (212) - vada tohoto typu je tvořena poměrně tenkou vrstvou písku pevně spojeného s povrchem odlitku, často na rovných plochách viz obr. 15. Tavenina přitom penetruje do větších hloubek, než je průměr zrna ostříva. Vysoká adheze připečenin k povrchu je způsobena tvorbou vícesložkových skel. Odstranění připečenin lze dosáhnout opakovaným otryskáním a obroušením povrchu odlitku.



Obr. 15. Povrchová připečenina [15]

- c) Hluboké připečeniny a zapečeniny (213) - tyto vady jsou způsobeny proniknutím taveniny do značné hloubky, často několik cm viz obr. 16. Konglomerát písku se ztuhlým kovem, vzniká v extrémně tepelně exponovaných místech formy či jádra a většinou jej lze jen velmi obtížně oddělit od povrchu odlitku, např. vypálením uhlíkovou elektrodou, mechanicky vysekáním, popř. vybroušením.

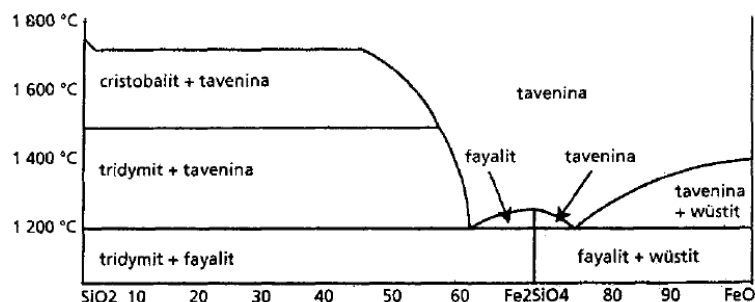


Obr. 16. Hluboká zapečenina [15]

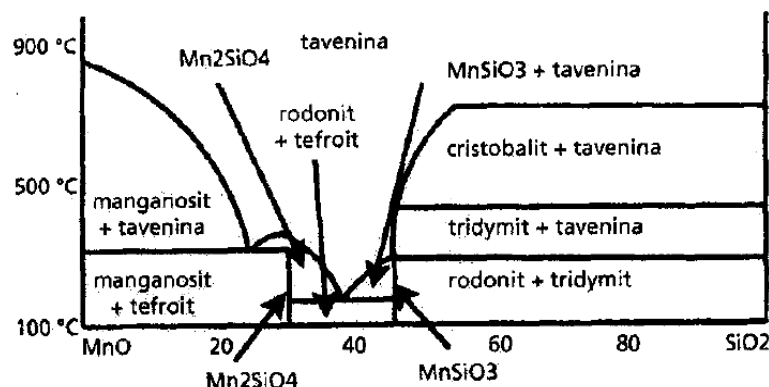
U ocelí se často uplatňuje tzv. oxidická penetrace nazývaná též chemická penetrace. Jsou prokázány následující způsoby penetrace kovu do slévárenské pískové formy:

- mechanická penetrace
- chemická penetrace
- penetrace účinkem par kovů
- explozivní penetrace
- expanzní penetrace
- penetrace iniciovaná cristobalitickou expanzí

Při odlévání dochází k tvorbě oxidických povlaku prvků s nízkou afinitou ke kyslíku a tvorbě nízkotavitelných sloučenin např. fayalitu viz obr. 17 a rhodonitu viz obr. 18. Současně s poklesem teploty tuhnutí dochází i k prudkému snížení úhlu smáčení, to znamená, že forma se stává bez ohledu na použité ostřívo smáčivou. To způsobuje snižování kapilárního tlaku (kov je do mezizrnových prostorů formy nasáván) a k penetraci taveniny do formy je zapotřebí menší metalostatický tlak. Existují i další mechanismy pro vysvětlení tvorby hlubokých zapečení, např. přes páry kovu atd. [19].



Obr. 17. Rovnovážný diagram soustavy SiO<sub>2</sub> - FeO [20]

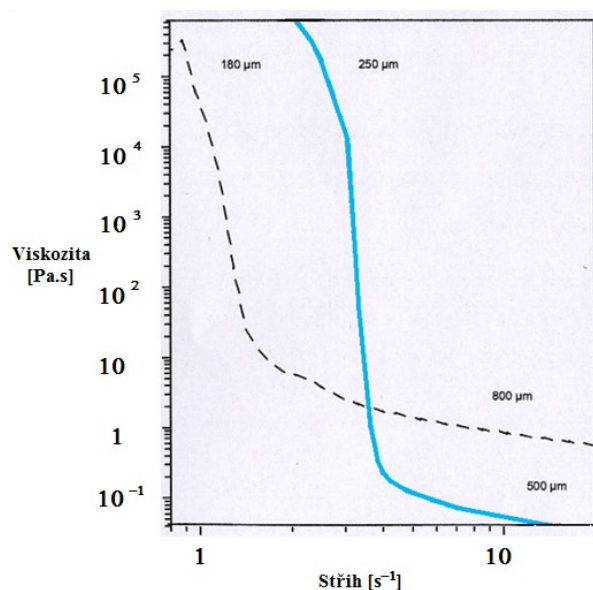


Obr. 18. Rovnovážný diagram soustavy SiO<sub>2</sub> - MnO [20]

## 4.2 Důležité vlastnosti ochranných materiálů

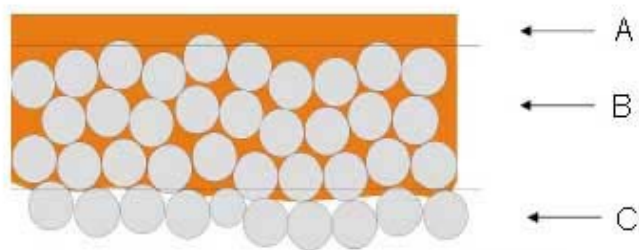
V odborné literatuře se můžeme setkat se třemi důležitými vlastnostmi ochranných nátěrů:

1. **Reologie** – zabývá se studiem deformací hmoty, vztah mezi napětím, deformací a rychlostí deformace. Závislost viskozity na smyku zobrazuje obr. 19. Čerchovaná čára zobrazuje nátěr s nízkou viskozitou. Tyto vlastnosti upravuje dodavatel pro optimální zpracovatelské vlastnosti [17].



Obr. 19. Reologické vlastnosti nátěrů [17]

2. Doba zmatnění – doba, za kterou se lesklý nátěr stane matným. Důležitý parametr, který zabraňuje odlupování nátěru při manipulaci [17].
3. Penetrace nátěru do formy - proniknutí nátěru do povrchu formy (jádra) vyjadřuje míru jeho soudržnosti s povrchem forem (jader). Řez lící vrstvy formy (jádra) opatřené vrstvou nátěru je schematicky znázorněn na obr. 20. Vytváří-li nátěr na povrchu formy (jádra) pouze vrstvu A znamená to, že není dobře zakotven a s největší pravděpodobností bude při plnění dutiny tekutým kovem ulomen. Naopak proniká-li nátěr formou (jádreem) příliš daleko může dojít k porušení její celistvosti a vzniku vad. Optimální hloubka penetrace by měla odpovídat 2 až 4 zrnům ostříva [21].



Obr. 20. Schéma řezu lícími vrstvami formy (jádra): A – vrstva nátěru ležící zcela na povrchu, B – penetrovaná vrstva, C - nezasažená vrstva [22]

Optimální počet vrstev nátěru je podle literatury a podle jednotlivých zkušeností dvě až tři. Tento tenký povlak musí odolat metalostatickému tlaku, vzniku eroze a penetraci kovu do písku. Nátěr je tak prezentován jako high-tech produkt, který byl v posledních letech velice zkoumán a prošel velkým vývojem [17].

### 4.3 Struktura nátěrů

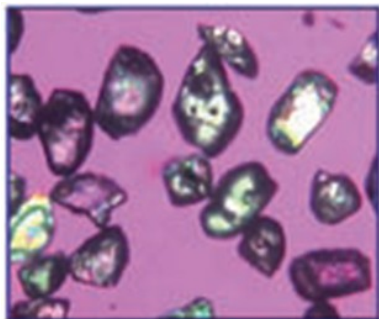
Nátěry se skládají ze žáruvzdorného materiálu, nosné kapaliny, pojiva a přísadového materiálu, aby se zabránilo usazování minerálů. Jen ta nejlepší strukturní kombinace vede k dobrým výsledkům [17],[23]. Výběr a vlastnosti jednotlivých žáruvzdorných materiálu je uveden v tab. 3.

Tvar žáruvzdorných plniv lze rozdělit na [17]:

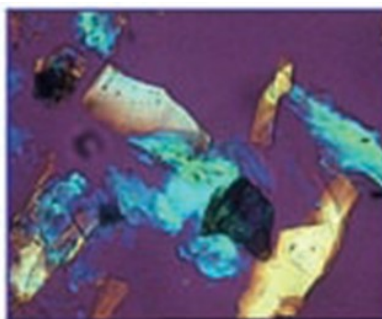
- Zrnité minerály – mají vysokou hustotu a žáruvzdornost viz obr. 21.
- Ploché destičky – (lamely, plátky), mají menší hustotu a žáruvzdornost viz obr. 21.

Tabulka 3. Výběr žáruvzdorných plniv a jejich vlastnosti [17]

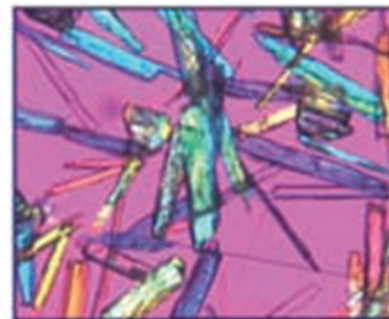
Žáruvzdorný materiál	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	Bod tání [°C]	Vzhled	Chemický vzorec
Zirkonsilikát	4,6	2200	zrnitý	ZrSiO <sub>4</sub>
Mullit	3,16	1700	zrnitý	3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 2 SiO <sub>2</sub>
Kaolinit	2,65	> 1700	plochý	Al <sub>2</sub> [(OH) <sub>4</sub> /Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]
Pyrophyllit	2,8	1600	plochý	Al <sub>2</sub> [(OH) <sub>2</sub> /Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]
Mastek	2,8	> 1000 max. 1430	plochý	Mg <sub>3</sub> [(OH) <sub>2</sub> /AlSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]
Slída	2,85	> 900	plochý	KAl <sub>2</sub> [(OH) <sub>2</sub> /AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]



a)



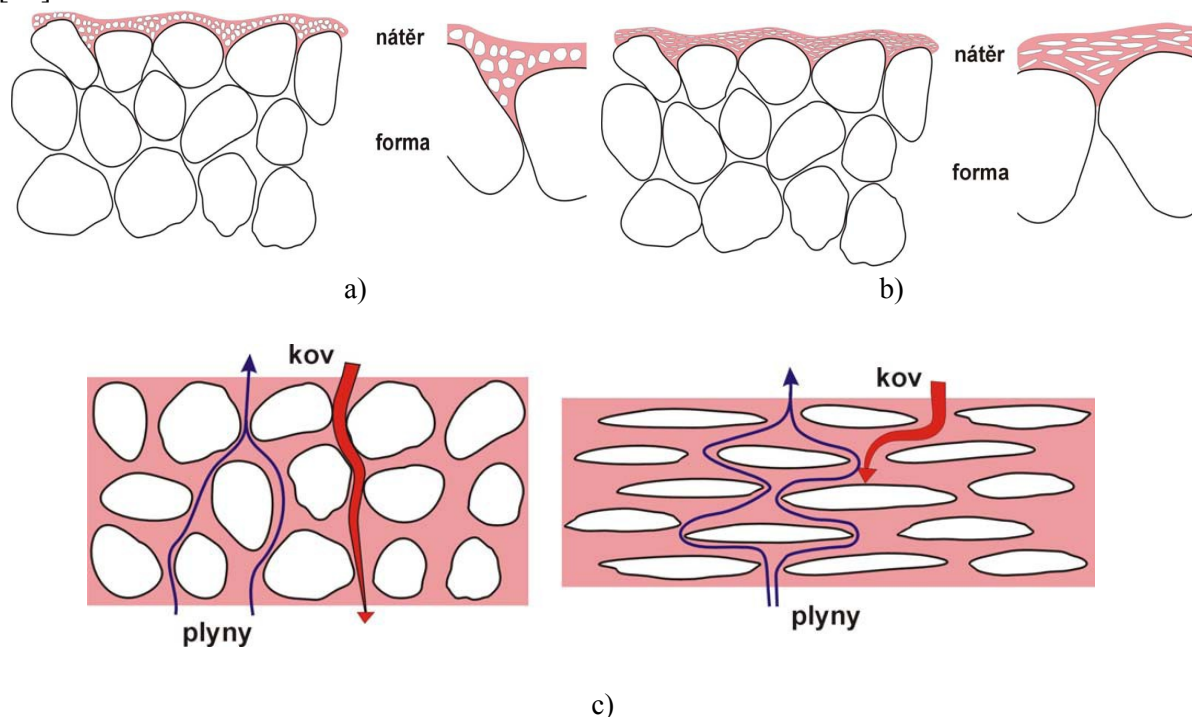
b)



c)

Obr. 21. Tvar plniva: a) zrnitý, b) destičkový, c) destičkový [17]

Je známo, že vývoj plniv nátěrů dospěl do stádia, kdy pro zajištění lepší prodyšnosti se používají plniva tvaru plochých destiček. Ploché destičky svým tvarem a uspořádáním dle obr. 22 zajišťují odolnost proti penetraci kovu do formy či jádra s dostatečnou prodyšností [24].



Obr. 22. Tvar plniva: a) zrnitý, b) destičkovitý,  
c) vliv tvaru plniva na průchod plynů a kovu [24]

## 4.4 Rozdělení nátěrů

Nátěry jsou v podstatě zpracovány tak, aby se po doručení zákazníkovi daly ihned použít. Základní technologickou přípravu nátěru provedl výrobce, a po doručení je jen nutné nátěr řádně promíchat, jelikož při jeho skladování a dopravě dochází k sedimentaci [16].

### 4.4.1 Rozdělení podle skupenství

Nátěry se dodávají ve třech možných stavech [16]:

#### 1. Hotový nátěr

- prakticky ihned k použití
- jednoduchá příprava
- nutnost homogenizace (promíchání)
- vyšší cena

## 2. Pasta

- obtížnější finální úprava
- nezbytné je vlastnit míchací zařízení
- nižší cena
- nižší možnost výskytu vad
- doporučení měření a kontrol viskozity

## 3. Prášek

- nutnost použití speciálních druhů míchaček
- nejvyšší cena
- zpracování probíhá zcela v režii zákazníka
- možnost dlouhodobého skladování
- náročnost přípravy a vysoké riziko chyb při zpracování

### 4.4.2 Rozdělení podle typu použití

K dispozici je velké množství multikomponentních systémů na vysoké úrovni s cílem zajistit všechny požadavky zákazníka. Na trhu rozdělujeme 4 typy nátěrových systémů, kde každý typ je charakteristický jiným typem plnidla [14].

1. Ochranné nátěry pro ocel - oceli jsou odlévány při vysokých teplotách (cca 1 560 °C) a proto je nutný pečlivý výběr žáruvzdorného materiálu, který poskytuje velkou ochranu proti penetraci kovu do formy a jader. Pro oceli jsou nejvhodnější zirkonsilikátové a aluminosilikátové nátěry. Magnesitové nátěry ve slévárnách oceli používají pro chromitové písky.
2. Nátěry pro litinové odlitky - u litinových odlitků hraje velkou roli reologie. Používají se vysoce kvalitní aluminosilikáty, které účinně předchází vadám. Kromě jiných plnidel a přísad se v praxi používají oxidy železa.
3. Nátěry pro sériovou výrobu - trh se sériovou výrobou obsahuje velké množství odlitků různých tvarů a velikostí. Produkce těchto odlitků vyžaduje krátkodobost a flexibilitu výrobní techniky. Kromě vody a alkoholu jako nosné tekutiny se používá isopropanol a ethanol.

4. Speciální nátěry - mezi speciální povlaky patří:

- sírové ochranné nátěry
- nátěry pro vakuové odlévání
- nátěry pro lost-foam (vypalitelný model)
- nátěry pro odstředivé lití atd.

## **4.5 Základní složky nátěrů**

Žáruvzdorné nátěry jsou několikasložkové heterogenní systémy. Podstatu těchto hmot tvoří především suspenze jemnozrnných žáruvzdorných pigmentů (plniva) v nosné kapalině, která vytváří vlastní izolační vrstvu, nereagující s kovem při lití. V nosné kapalině jsou dále rozpuštěna pojiva a jiné látky upravující vlastnosti nátěrů, např. smáčedla, antisedimentační přísady apod. Složení nátěrů musí být vždy přizpůsobeno podmínkám výrobní technologie.

Hlavními složkami jsou tedy: plniva (také výplňová hmota, žáruvzdornina, pigmenty, základní materiály), nosná kapalina, pojiva a další přísady [25].

### **4.5.1 Plniva**

Plniva jsou jemnozrnné žáruvzdorné až vysoce žáruvzdorné anorganické materiály. Nejčastěji používáme různé druhy oxidů, neobvyklé nejsou ani karbidy, nitridy, boridy i některé čisté prvky [26].

Nátěry, které tvoří velmi malé částice chemických sloučenin s vysokým bodem tavení (karbidy, nitridy, karbonitridy aj.) o velikosti do 100  $\mu\text{m}$ , mají velmi vysokou sedimentační stálost a dobrou schopnost krytí a jsou vhodné především pro pískové formy a jádra na výrobu litinových, resp. ocelových odlitků [27].

Typ plniva určuje možnost aplikace nátěru. Kompatibilita nejčastěji používaných materiálů s odlévanými materiály je uvedena v tab. 4. Výběr méně používaných plniv a jejich hustota je uvedena v tab. 5.



Důležité vlastnosti plniv jsou [16]:

- reaktivita ve vztahu k odlévanému kovu
- tvorba strusky
- bod tání plniv
- velikost plnivových částic
- tepelná vodivost
- tepelná kapacita

Nejběžněji používanými žáruvzdornými plnivy jsou [26]:

- magnezit
- křemičitan zirkoničitý
- elektrokorund
- hlinitano-křemičitany
- olivín
- křemen
- mastek
- grafit

Tabulka 4. Běžně používaná žáruvzdorná plniva [28]

Plnivo	Chemické značení	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	T <sub>tavení</sub> [°C]	Použitelnost
<b>magnezit</b>	MgCO <sub>3</sub>	3,0	2800	litiny, oceli-zejména manganové oceli
<b>křemičitan zirkoničitý</b>	ZrSiO <sub>4</sub>	4,67	2200	litiny, oceli-nevhodné pro manganové oceli
<b>oxid hlinitý</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,97	2050	litiny, oceli
<b>hlinitano-křemičitany</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SiO <sub>2</sub>	3,2-3,5	1700-1830 x	litiny, oceli, neželezné kovy-závisí na poměru Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SiO <sub>2</sub>
<b>olivín</b>	(Mg,Fe) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]	3,3	1760	obvykle litiny
<b>křemen</b>	SiO <sub>2</sub>	2,6	1710	obvykle litiny
<b>mastek</b>	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2,58-2,83	1500	litiny, neželezné kovy
<b>grafit</b>	C	2,1-2,3	- y	litiny, neželezné kovy

x - závisí na poměru Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>

y - teplota tavení čistého grafitu je okolo 3500 °C, druhy uhlíku používané v žáruvzdorných náterech se začínají tavit při teplotách nižších než 1000 °C

Tabulka 5. Výběr méně používaných plniv a jejich hustot [16]

Plnivo	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]
Oxid železitý	5,24
Slída	2,76
Illit	2,6 – 2,9
Kaolin	2,1 – 2,6
Oxid hořečnatý	3,58
Montmorillonit	1,7 – 2,7
Mullit	3,1 – 3,26
Pyrophyllit	2,8 – 2,9

#### 4.5.1.1 Vlastnosti plniva

Mezi specifické vlastnosti nátěrů, které se zkoumají v laboratorních podmínkách, patří [16]:

1. Sedimentace - stanovení sedimentace se provádí ve zkušebních válcích po dobu 24 h, výsledek se udává v procentech. Počítá se rychlost sedimentace částice v kapalném prostředí, kde se používá Stokesova rovnice:

$$W_S = \frac{d^2 \cdot (\rho_{PL} - \rho_{NK}) \cdot g}{18 \cdot \mu_{NK}} \quad (16)$$

$W_S$	rychlost sedimentace [m/s]
$g$	gravitační zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
$d^2$	průměr částic [mm]
$\mu_{NK}$	dynamická viskozita nosné kapaliny [kg/m.s]
$\rho_{PL}$	hustota plniva [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{NK}$	hustota nosné kapaliny [kg/m <sup>3</sup> ]
Re	Reynoldsovo kritérium

Následně Archimedovým zákonem a Reynoldsovým kriteriem určíme sedimentační rychlost [16]:

$$W_S = \frac{Re^2 \cdot \mu_{NK}}{d \cdot \rho_{NK}} \quad (16)$$

2. Kompaktnost sedimentu - tvrdost a kompaktnost závisí na chemické struktuře.
3. Hustota - provádí se měřením pomocí hustoměru při pokojové teplotě, tedy 20 °C.
4. Prodyšnost - měření prodyšnosti se provádí na vzorku tvaru krychle o délce strany 1 cm. Měří se množství prošlého vzduchu v cm<sup>3</sup>. Prodyšnost je dána následujícím vztahem:

$$Gd = \frac{Q \cdot h}{F \cdot p \cdot t} \quad (16)$$

Gd	prodyšnost [m <sup>2</sup> .Pa <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]
Q	množství proudícího vzduchu (2 000 cm <sup>3</sup> )
h	výška vzorku (5 cm)
F	plocha průřezu (19,63 cm <sup>2</sup> )
p	tlak
t	doba prošlého objemu 2 000 cm <sup>3</sup> během jedné minuty

5. Množství plynu a jeho napětí - v podstatě se měří tlak plynu v závislosti na teplotě cca 1000°C. Měří se speciálním přístrojem od firmy Fa. Georg Fischer AG a nese obchodní značení PGD.
6. Množství plynu - množství plynu v nátěru v cm<sup>3</sup>/g
7. Vývoj plynu - měřeno v cm<sup>3</sup>, vzorek měříme po dobu 5 sec.
8. Růst a tvorba plísně - měří se růst mikroorganismů po dobu jednoho týdne v hermeticky uzavřeném prostředí, při teplotě 20 °C. Po otevření se kontroluje zápach.
9. Povrchové napětí - jako povrchové napětí lze označit sílu, která působí kolmo na délku myšleného řezu povrchem, dělenou touto délkou a která leží v tečné rovině k povrchu v daném bodě. Obecná rovnice pro výpočet povrchového napětí:

$$\gamma = \left[ \frac{dG}{dF} \right] p \cdot T \quad (16)$$

γ	povrchové napětí [N.m <sup>-1</sup> ]
G	volná entalpie [J.mol <sup>-1</sup> ]
F	plocha v průřezu [cm <sup>2</sup> ]
T	termodynamická teplota [K]
p	tlak [MPa]

10. Hodnota pH - hodnota pH je definována jako záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů. Obecná rovnice:

$$\text{pH} = -\log [ a ( \text{H}_3\text{O}^+ ) ] \quad (16)$$

11. Stanovení sušiny - hodnota se udává v procentech
12. Viskozita - (také vazkost) je fyzikální veličina, udávající poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny. Viskozita je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.

#### 4.5.2 Nosná kapalina

Výběr nosné kapaliny závisí na typu pojiva formovací směsi, s výjimkou vodního skla jinak všechny pojivové systémy nové generace jsou kompatibilní s vodou. Důležitý je také výrobní proces týkající se sušení. Kromě toho se úřady snaží zabránit používáním alkoholových nátěrů z důvodu bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Proto poptávka a kladené nároky na vodní nátěry neustále rostou [16].

Používané žáruvzdorné nátěry je možné podle různých kritérií kategorizovat do rozličných skupin. Nejčastějším příkladem třídění je druh nosné kapaliny, respektive druh použitého rozpouštědla (také nosič-nosná kapalina). Z tohoto hlediska členíme slévárenské nátěry na dva druhy:

1. vodné – nosná kapalina je voda
2. bezvodé (vysychavé) – nosná kapalina např. líh, benzín, metanol, etanol, izopropanol, izobutanol atd.

Hlavními funkcemi nosných kapalin je rozpouštět přísadové látky tj. pojiva a další příměsi. Vedlejší funkcí je sloužit jako médium k transportu základního materiálu na povrch formy [29].

#### 4.5.2.1 Vodné

Patří k nejpoužívanější nosné kapalině pro svoji jednoduchost, bezpečnost a nenáročnost při přípravě. Jejich velkou nevýhodou je nutnost sušení, čímž se maří výhody lití na syrovo.

Nevýhody nátěrů na vodní bázi:

- dlouhá doba odpařování vody a tedy potřeba formy (jádra) opatřené takovými nátěry vysoušet
- vyšší riziko vzniku povrchových vad při odlévání se vytváří v dutině formy oxidická atmosféra, a následkem vlhkosti se může snižovat povrchová pevnost formy (jádra)

Výhody vodných nátěrů jsou zejména v jejich hygieničnosti, bezpečnosti na pracovišti a ekologičnosti.

#### 4.5.2.2 Bezvodé

Bezvodé nátěry, zvané též „vysýchavé“, obsahují jako nosnou kapalinu organická ředidla (alkoholy, aceton, naftu, benzín). Bezvodé nátěrové hmoty rychle schnou a dají se i zpevnit zapálením. Navíc vykazují vysoký stupeň kompatibility s většinou pojiv. Avšak jejími hlavními nevýhodami jsou především nízká bezpečnost a hygienická závadnost.

#### 4.5.3 Pojiva

Jsou to látky, které dodávají vrstvě nátěru pevnost i za vysokých teplot. Volba vybraného pojiva závisí na druhu nosné tekutiny např. [29]:

- vodní báze – organické látky (melasa, dextrin, močovinoformaldehydová pryskyřice, vodní sklo, škrob atd.)
- bezvodá báze - fenol-formaldehydové, fenolfuranové, organokřemičité a jiné syntetické pryskyřice a polymery

Při styku formy s taveninou vznikají pevné a plynné produkty, které ovlivňují sklon k penetraci kovu do formy (jádra). Mezi tyto pevné produkty patří pyrolyzní uhlík. Po tepelné expozici se tvoří plynné alifatické a aromatické uhlovodíky cestou primární termodestrukce, které filtrují do žárového pásma na rozhraní forma - kov, kde procesem sekundární termodestrukce vznikají tenké blanky (20 až 40  $\mu\text{m}$ ) pyrouhlíku [30].

Pyrolytický uhlík má dvě zásadní odlišné formy, lišící se hustotou, strukturně, oxireaktivitou, aromaticitou a morfologicky [30].

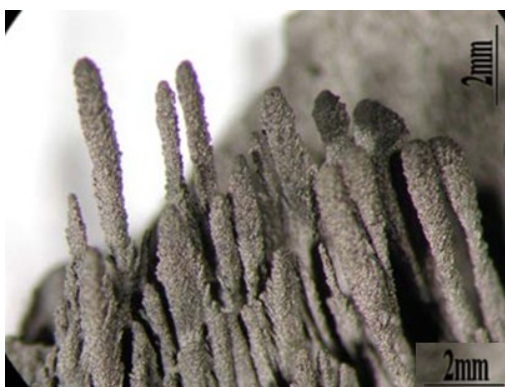
1. Lesklý uhlík viz obr. 23.

- je více strukturovaný
- nízká oxireaktivita (vysokou stabilitou proti oxidaci)
- kompaktní, listková morfologie
- nízká aromaticita ( $H^{at}/C^{at}$ ) – blíží se strukturně grafitu

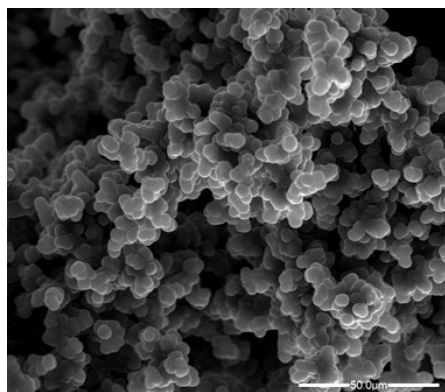
2. Amorfní uhlík viz obr. 24.

- dendritická kuličkovitá, hroznovitá morfologie
- nízká stabilita proti oxidaci
- vyšší aromaticita - blíží se sazím

Charakteristiku produktů 2 - stupňové pyrolýzy černého uhlí zobrazuje tab. 6.



Obr. 23. Lesklý uhlík (LC) [30]



Obr. 24. Amorfní uhlík (AC) [30]

Tabulka 6. Charakteristika produktů 2-stupňové pyrolýzy černého uhlí [30]

Forma uhlíku	Hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	Aromaticita [ $H^{at}/C^{at}$ ]	Oxireaktivita [ $T_{\text{max}}^{\circ}\text{C}$ ]
Lesklý uhlík LC	2,10	0,037	807
Pyrolýzní uhlík PC	1,92	0,072	630
Koks (semikoks)	1,81	0,155	574

#### 4.5.4 Přísadové látky

O přísadových látkách používaných v žáruvzdorných nátěrech toho víme velice málo. Je to díky tomu, že toto „know-how“ si chrání soukromé firmy, a přesná složení jsou výrobním tajemstvím. Přísadové látky jsou často označovány jako pomocné látky přidávané v malém množství, aby zvýšily určité vlastnosti. Patří sem různá zahušťovadla, modifikátory reologických vlastností, smáčecí a dispergační činidla, smáčedla odpěňovače biocidy atd., které dělíme do čtyř skupin [16].

1. Suspenze a zahušťovadla – za účelem zvýšení viskozity a tixotropních vlastností. Dělíme je do těchto skupin [16]:
  - anorganické zahušťovadla – jílové minerály, zeolit, bentonit atd.
  - organické přírodní látky – arabská guma, škrob, dextrin atd.
  - organické přírodní modifikované látky – hydroxy-ethyl, karboxy-methyl-celulosa atd.
  - organické plně syntetické zahušťovadla – polyakryl, polyether, polyamin, polyamid atd.
2. Smáčedla – přírodní nebo syntetické látky, snižující povrchové napětí tak, že kapalina snáze proniká do natíraného tělesa (alkoholy, ethery, pyridin atd.)
3. Biocidy – látky zabraňující růstu různých mikroorganismů (bakterií, plísní, řas a kvasinek.
4. Spojovací prostředky (pojivo) – jsou rozdělena stejně jak suspenze a zahušťovadla.

Obecně se dá říct, že přísadové látky zlepšují některé technologické vlastnosti, např. [16]:

- snižují mezifázové napětí mezi dvěma tekutinami
- snižují povrchové napětí vodných nátěrů
- zabraňují usazování plniva (pokud roztok plniva nemá dostatečnou viskozitu)
- zlepšují roztíratelnost a gelový stav suspenze

## 4.6 Aplikace nátěru

Metodika nanášení je dalším kritériem, které významně ovlivňuje volbu nátěru. Nanesení nátěru je určeno druhem formy (jádra) a mechanizačními schopnostmi slévárny. Obecně rozlišuje čtyři základní metody nanášení: máčení, polévání, nástřík a natírání. Každá z uvedených metod pro své použití vyžaduje různé reologické a jiné vlastnosti, které jsou zobrazeny v tab. 7. Ideální však je, když je nátěr souběžně vhodný pro řadu typů aplikací. Tyto vlastnosti lze vylepšit přidáním různých reologických aditiv [16],[31].

Dělení metod nanášení [16],[31]:

1. Máčení – je nejrychlejší a nejekonomičtější, může být prováděno programově (roboticky), vzrůstá však nebezpečí narušení podkladu. V potaz by měla být brána velikost máčecí linky a výhodou je stejnoměrnost nátěru. Obvykle je vyžadována řidší konzistence.
2. Polévání – polévání je podobně jako máčení vysoce efektivní metoda. Automatizace této metody je obtížná a stejnoměrnost rozložení nátěru je horší než u máčení.
3. Stříkání – tato metoda je považována za jednu z nehorších možností, jelikož dochází k velké ztrátě nátěru při aplikaci. Tloušťka vrstvy se liší v závislosti na personální obsluze. Stříkání umožňuje mechanizovaně a s velkou produktivitou nanášet hladké vrstvy povlaků.
4. Natírání – je nejjednodušší, ale zato nejvíce časově náročná metoda. Hlavní výhoda spočívá v možnosti natírání velkých forem a jader. Nároky na reologické vlastnosti nátěru jsou vysoké. Tloušťka nátěru závisí na zkušenostech zaměstnanců a na kontrole dodržování pracovních postupů. Nátěr umožňuje hlubší vetření suspenze do pórů podkladu, současně však vzniká nebezpečí uvolnění pískových zrn z povrchu podkladu a jejich zabudování do nátěrové vrstvy.



Tabulka 7. Charakteristiky jednotlivých metod nanášení [31]

Činnost	Natírání	Nástřík	Polévání	Máčení
manipulace	snadná	obtížná	snadná	snadná
investice	1-10 €	500-2000 €	1000-5000 €	500-1000 €
náročnost údržby	nízká	extrémní	nízká	nízká
podpůrné prostředky	žádné	žádné	jeřáb	žádné
prostorová náročnost	žádná	$< 1 \text{ m}^2$	$2-10 \text{ m}^2$	$1-4 \text{ m}^2$
spolehlivost	nízká	nízká	vysoká	vysoká
povrch	hrubý	hrubý	hladký	hladký
omezující faktory	otvory, záhyby (kapsy)	otvory, záhyby (kapsy)	žádné	žádné
výkon	$1-2 \text{ m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$	$2-4 \text{ m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$	$4-6 \text{ m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$	$6-10 \text{ m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$

Požadavky u velkých odlitků [32]:

1. rovnoměrné nanesení nátěru po celém odlitku
2. nepatrná sedimentace
3. stabilita vůči vnějším vlivům
4. nejvyšší možná tepelná odolnost
5. dlouhá doba zmatnění
6. možnost nátěru na velké formy a jádra
7. možnost volby aplikace nátěru nástřikem, nátěrem, poléváním a máčením

Z praxe je známo, že nelze zaručit rovnoměrné nanesení nátěru. Tloušťka nátěru je však nejdůležitějším faktorem, který by měl být sledován. Optimální tloušťka se pohybuje kolem 5 mm a odpovídá kvalitnímu povrchu bez připečenin.

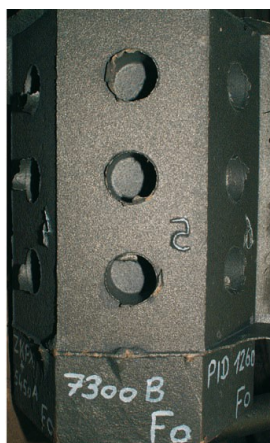
#### 4.7 Použití nátěru ve slévárnách

Použití ochranných nátěru ve slévárnách je již většinou pevně dané, ale při vysoké účinnosti a kvalitě pojiva a formovací směsí, může být použití nátěru vynecháno. Samozřejmě záleží na více faktorech [17],[33].

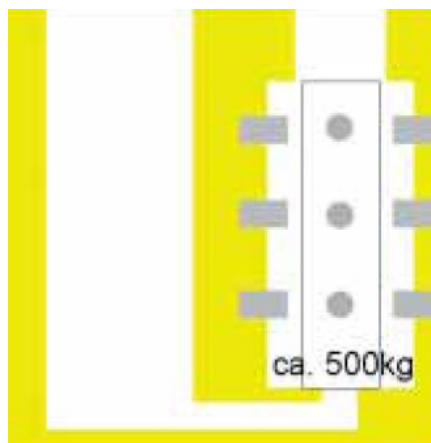
Znalost všech procesů ve slévárně a způsoby jakými může být zvýšen výkon (snížení nákladů, zvýšení produktivity, flexibilita a vysoká kvalita) to vše je v dnešní době důležité pro přežití. Výběr vhodného nátěru se podílí přibližně 1 % na celkovém nákladu na odlitek.

Na druhou stranu, výběr špatného nátěru (nevyhovující tloušťka, chemické složení, metoda nanesení atd.) se odrazí na nákladech na čištění odlitku a na odstranění vad. Toto pochybení může stát slévárnu 5-10 % z celkového nákladu na odlitek [17].

Byl vyvinut tzv. hexagonální test, na kterém se sleduje náchylnost k tvorbě připečenin jednotlivých nátěrů viz obr. 25 a 26. Těchto výsledků bylo dosaženo při vzájemné spolupráci dodavatelů a zákazníků [32].



Obr. 25. Hexagonální test [32]



Obr. 26. Hexagonální test [32]

Nátěry se ukázaly jako vhodný a účinný prostředek k zabránění různých slévárenských vad. Neustálý rozvoj a pochopení všech účinků nátěrů, jako hranici oddělující písek a kov vedlo k tomu, že byly pochopeny, rozpoznány a odstraněny různé pochody a mechanismy, které zhoršovaly kvalitu odlitku. Při pohledu pod mikroskop zjistíme, že hrubé složky minerálů zůstanou na povrchu a mají izolační a žáruvzdorné funkce, zatím co část jemnějšího materiálu penetruje hlouběji pod povrch [23].

Kromě vhodného výběru žáruvzdorného materiálu a optimální tloušťky nátěru, má významný vliv na odlitek odvod plynu z jader a formy [23].

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Vlastní experiment byl prováděn v podmínkách slévárny VHM v Ostravě Vítkovicích. V rámci možností bylo pro praktické ověření žáruvzdorného ochranného nátěru použito patnáct odlitků podobně různých nebo stejných tvarů a rozměrů, jejichž hrubá hmotnost se pohybovala od 4,4 tun do 127 tun.

Tyto odlitky se rozdělily na určité části (pokud to jejich tvar umožnil), a každá část odlitku se natřela jedním nátěrem. Seznam těchto odlitků se všemi potřebnými údaji a vlastnostmi je uveden v příloze 3.

Celkové množství zkoumaných nátěrů bylo osm, lišily se jednak používaným typem plniva, ale i nosnou kapalinou nátěru, která byla podle úvahy ředěna.

### Typ plniva:

- a) korund
- b) zirkon

### Typ nosné kapaliny:

- a) líh
- b) voda

Následně byly povrchy odlitku vizuálně vyhodnocovány a podle české technické normy (ČSN 12454:1998 - vizuální kontrola povrchových vad - ocelové odlitky odlévané do pískových forem) byly podle etalonů porovnávány. Záměr experimentu bylo vyhodnotit vliv žáruvzdorného ochranného nátěru na výslednou povrchovou jakost odlitků ve VHM u samotvrdnoucích furanových směsí s chromitovým a křemenným ostřivem.

### 5.1 Charakteristika použitých nátěrů

Celkem na patnácti odlitcích bylo vyzkoušeno osm odlišných nátěrů od pěti různých dodavatelů viz tab. 8. Tyto nátěry byly podle úvahy zřetřovány na předem dohodnutou koncentraci. Nanášení probíhalo natíráním štětkou a tloušťka nátěru byla měřena kalibrovaným měřítkem.

Tabulka 8. Seznam použitých nátěrů a jejich vlastnosti dle výrobců

Název	Plnivo	Nosná kapalina	Hustota při 20°C [g.cm <sup>-3</sup> ]	Barva	Výrobce	Cena [€/Kg]
<b>Hydrolac AL 90</b>	korund	voda	2,0-2,15	bílé až slonovité barvy	F.LLI Mazzon (Itálie)	1,43
<b>Hydrolac DP 80 CD</b>	korund	voda	2,0-2,3	bílá/krémová	F.LLI Mazzon (Itálie)	1,53
<b>Arkofluid 6227</b>	korund	alkohol/ líh	2,0	bílá	HüttenesAlbertus (Německo)	1,72
<b>Arkopal 6473</b>	korund	voda	2,2	bílá	HüttenesAlbertus (Německo)	3,45
<b>FQH 500</b>	zirkon	alkohol/líh	1,6-2,05	rýžově bílá	ShengQuan Group (Čína)	-
<b>Konfix ZK</b>	zirkon	voda	2,0-2,2	bílá/krémová	KBO-GmbH (Německo)	1,52
<b>Konfix ZKR</b>	zirkon	voda	2,0-2,2	růžová/červená	KBO-GmbH (Německo)	1,64
<b>Teno Coating ZBBP 16</b>	zirkon	alkohol//líh	2,2	bílá	Foseco (Anglie)	1,861

Vhodnost nátěrů pro určité oblasti použití a návod na zpracování, který je popsán níže, se vztahuje ke všem osmi nátěrům.

#### Oblast použití:

Pro silnostěnné ocelové a litinové odlitky, jak pro jádra (která jsou velmi silně tepelně namáhána), tak i pro formy. Zvláště vhodný pro použití u chromitových písků v případě připečení u odlitků.

#### Návod na zpracování:

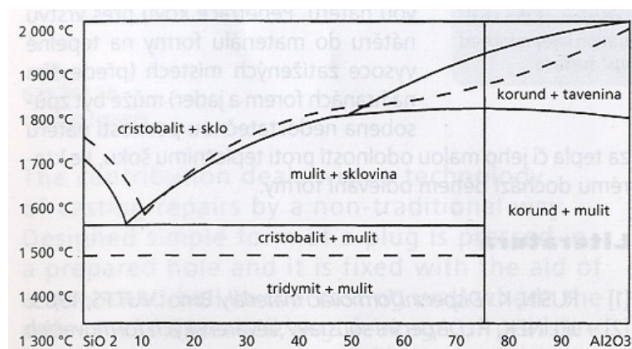
Podle pískového podkladu se nastavuje výtoková doba cca 15-18 vteřin, ze 4 – mm výtokového pohárku. Pokud se jedná o alkoholový nátěr, nosná tekutina se odstraňuje zapálením nebo odpařením. Při tom je třeba dodržovat předpisy pro zacházení s hořlavinami. Silně doporučovaná je aplikace natíráním štětkou nebo poléváním, méně doporučovaná aplikace je nástřikem nebo máčením

Nátěr je nutné před použitím dokonale promíchat. Doporučuje se použít motorem poháněná míchací zařízení.

## 5.2 Korundový nátěr

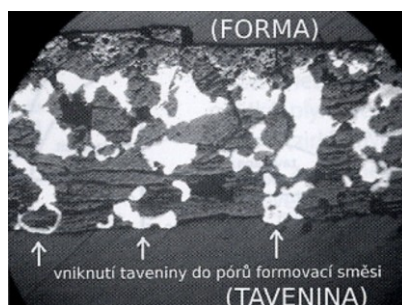
Ve slévárenství se využívá umělé ostřívo – elektrokorund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Teoreticky obsahuje 52,91 % Al. Podle druhu modifikace se měrná hmotnost pohybuje v mezích 3,3 - 4 g/cm<sup>3</sup>. Bod tavení 2 050 °C, tvrdost 9.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je polymorfním oxidem. Má celkem čtyři modifikace ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\xi$ ). Z nichž  $\beta$  a  $\xi$  - modifikace nejsou zcela potvrzeny a názory na existenci se různí [5].

„Univerzálně“ použitelný žáruvzdorný nátěr pro výrobu ocelových odlitků, včetně odlitků z Mn oceli, musí mít nejen dostatečně vysokou žáruvzdornost, ale musí také potlačovat nepříznivé chemické interakce mezi povrchem forem či jader a odlévanou taveninou; při odlévání slitin železa tedy musí omezovat reakce, při nichž vznikají nízkotavitelná eutektika známá jako fayalit -  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  a zvláště při odlévání vysokolegované Mn oceli nebezpečný rodonit -  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ . Rovnovážný diagram soustavy  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  viz obr. 27) [20].



Obr. 27. Rovnovážný diagram soustavy  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [20]

Penetrace kovu přes vrstvu nátěru do materiálu formy na tepelně vysoce zatížených místech (především na hranách forem a jader) může být způsobena nedostatečnou pevností nátěru za tepla a jeho malou odolností proti teplotnímu šoku, ke kterému dochází během odlévání formy. Penetrace kovu přes korundový nátěr do formovací směsi s dunytovým ostřivem lze vidět na obr. 28 [20].

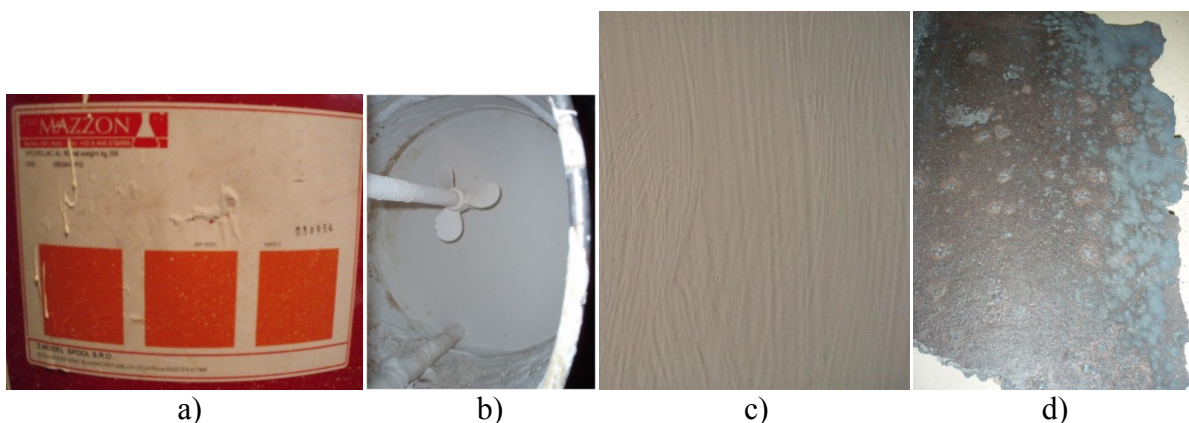


Obr. 28. Metalografický výbrus tenké připečené vrstvy odloupené z odlitku [20]

## 5.2.1 Typy použitých korundových nátěrů

### 1. Hydrolac AL 90

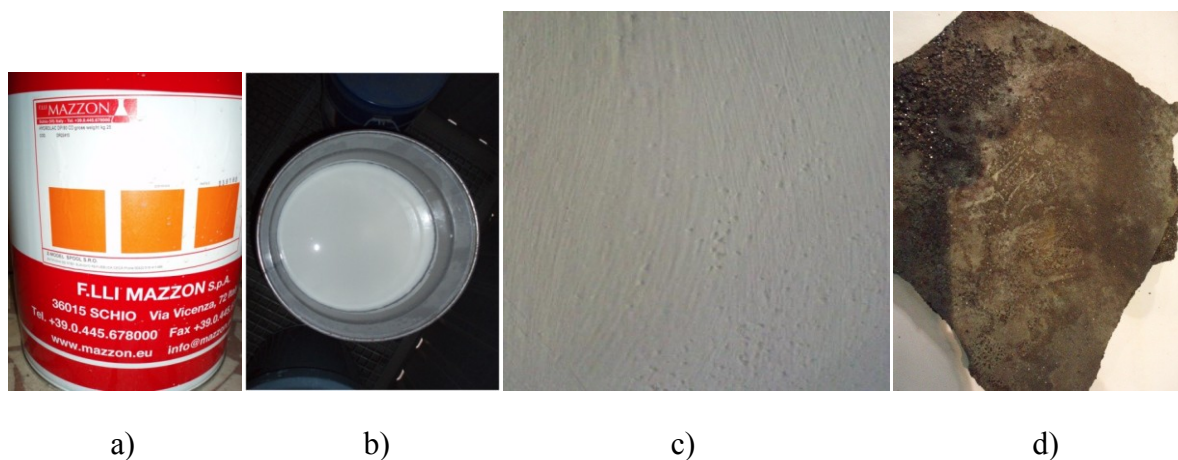
Vysoce žáruvzdorný izolační nátěr bílé až slonovité barvy, na bázi korundu, jehož nosnou kapalinou je voda. Skládá se ze žáruvzdorného plniva, aktivních bentonitů, organických pojiv, přísad a vody. Jeho hustota je přibližně  $2,0 - 2,15 \text{ g/cm}^3$ . Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 29.



Obr. 29. Vzhled nátěru Hydrolac AL90: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití

### 2. Hydrolac DP 80 CD

Žáruvzdorný izolační korundový nátěr, bílé až krémové barvy, jehož nosnou kapalinou je voda. Je charakteristický svou výbornou přilnavostí, vysokou krycí schopností a výbornou roztíratelností štětcem. Vlastní vyšší prodyšnost než Hydrolac AL 90. Jeho hustota je přibližně  $2,0 - 2,30 \text{ g/cm}^3$ . Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 30.

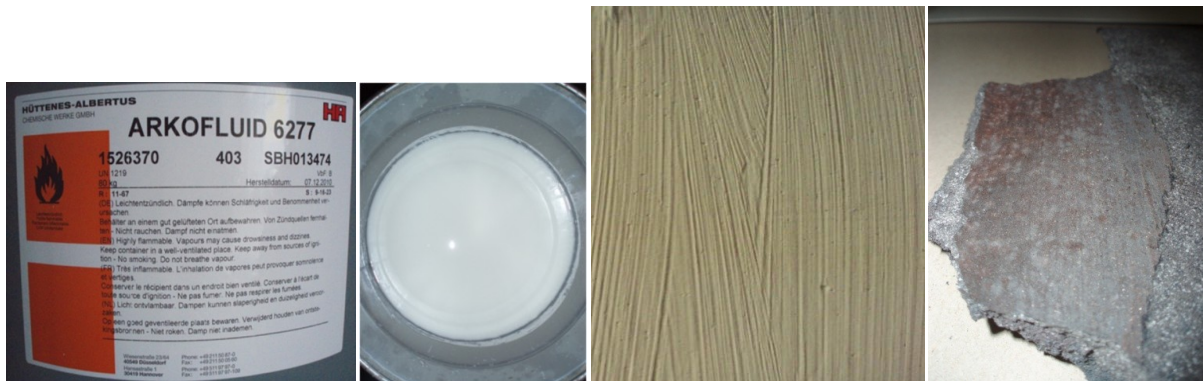


Obr. 30. Vzhled nátěru Hydrolac DP 80 DC: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití



### 3. Arkofluid 6277

Bílý nátěr na bázi oxidických pelet odolných vůči vysokým teplotám. Jako nosná tekutina se používá alkohol. Jeho hustota je přibližně 2,0 g/cm<sup>3</sup>. Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 31.



a)

b)

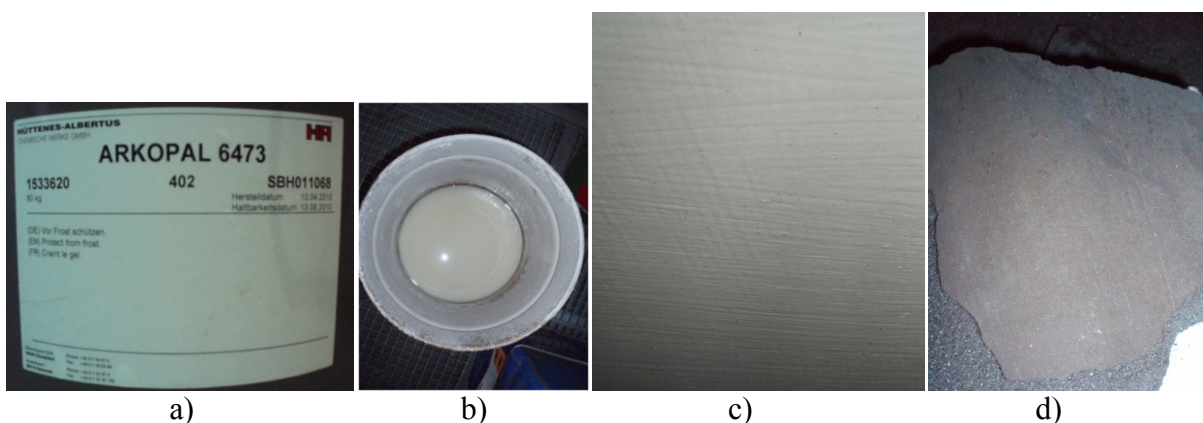
c)

d)

Obr. 31. Vzhled nátěru Arkofluid 6277: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití

### 4. Arkopal 6473

Jedná se o aluminiumoxid, jehož nosnou kapalinou je voda. Nátěr je velmi reakčně inaktivní vůči částicím v tavenině, má dobrou vazbu a odolnost vůči opotřebení. Jeho hustota je přibližně 2,2 g/cm<sup>3</sup>. Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 32.



a)

b)

c)

d)

Obr. 32. Vzhled nátěru Arkopal 6473: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití

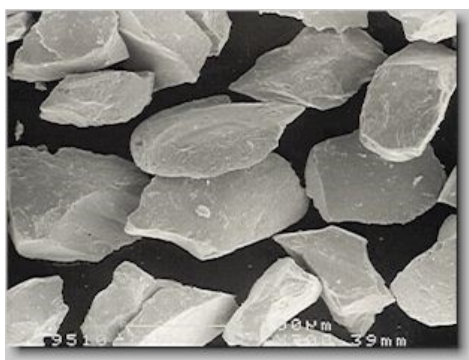
### 5.3 Zirkonový nátěr

Minerál zirkon  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$  krystalizuje ve čtverečné soustavě, je hnědočervený, hustoty  $4,6 \text{ g/cm}^3$ , tvrdosti 7,5. Je to velmi stálý minerál s dobrou odolností proti deformaci v žáru a proti působení zásaditých i kyselých tavenin. Běžně obsahuje stopy hafnia, thoria nebo uranu.

Zirkon má, v porovnání s jinými běžně používanými nátěry velmi vysokou žáruvzdornost, jeho bod tání je  $2\,200^\circ\text{C}$ . Jedná se o zirkonsilikát s teoretickým obsahem 67,2 %  $\text{ZrO}_2$  a 32,8 %  $\text{SiO}_2$ .

Zirkon je hlavní surovinou pro výrobu nátěrových hmot. Na jedné straně poskytuje vysokou žáruvzdornost a je spolehlivou surovinou pro odstranění typických vad odlitků, na druhé straně stojí neustále rostoucí cena suroviny na trhu [32].

Zirkon se také může kombinovat s jinými druhy plniv, například s grafitem. Má také dobrou odolnost vůči teplotním změnám v kombinaci s nízkou tepelnou roztažností. Nízká chemická reaktivita s roztavenými kovy z něj dělá optimální žáruvzdorné plnivo. Tvar zrna pod mikroskopem je vidět na obr. 33. [35].



Obr. 33. Tvar zrn [35]

Z hlediska snášenlivosti s roztavenou ocelí jsou nejvýznamnější zirkon-křemičitá (zirkonsilikát) a korundová plniva (oxid hlinitý). K přednostem zirkonsilikátů patří především [26]:

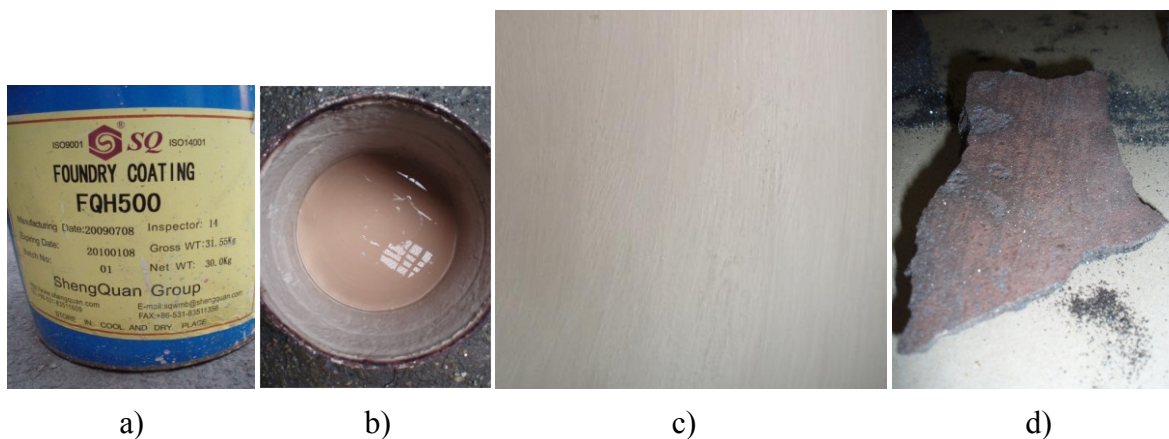
- vysoká žáruvzdornost
- chemická čistota (nízký obsah železa)
- malá smáčivost roztavenou ocelí
- nízký sklon k chemickým reakcím s oxidy železa a struskami
- malá tepelná roztažnost
- schopnost slinovat za vysokých teplot
- dobrá roztíratelnost v suspenzích



### 5.3.1 Typy použitých zirkonových nátěrů

#### 1. FQH 500

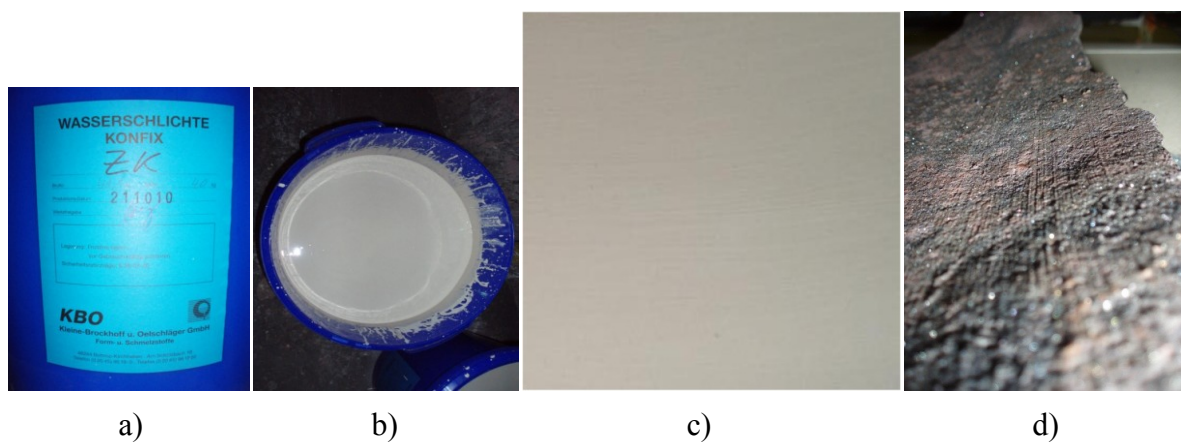
Bílý žáruvzdorný vodní nátěr, jehož plnivem je zirkon. Má dobré tixotropní a reologické vlastnosti, je dobře prodyšný. Jelikož se jedná o zirkonový nátěr, má výborné žáruvzdorné vlastnosti. Hustota se pohybuje kolem  $1,6\text{--}2,05\text{ g/cm}^3$ . Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 34.



Obr. 34. Vzhled nátěru FQH 500: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití

#### 2. Konfix ZK

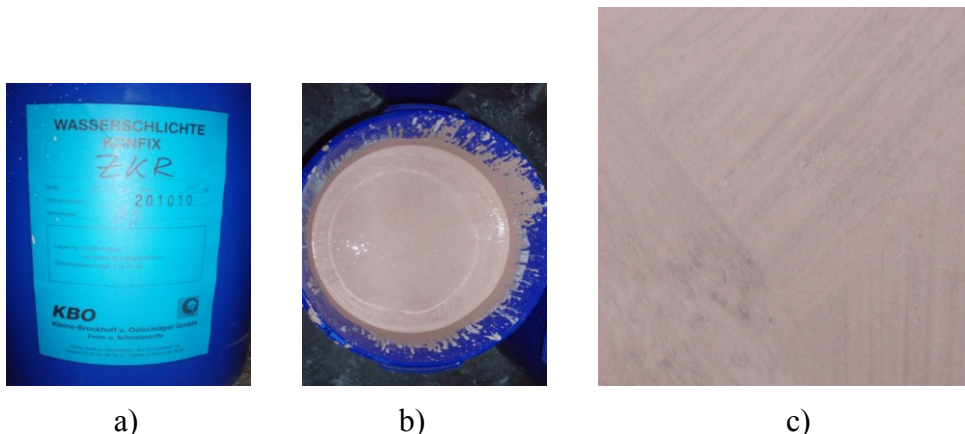
Zirkonový silikát s obzvlášť termicky stálou a pružnou vazbou, jako nosné medium slouží voda. Nátěr Konfix ZK se osvědčil na základě vysokého podílu zirkonu, obzvlášť u ocelolitiny a tlustostěnné tvárné litiny. Je velmi tvrdý a odolný proti otěru. Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 35.



Obr. 35. Vzhled nátěru Konfix ZK: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití

### 3. Konfix ZKR

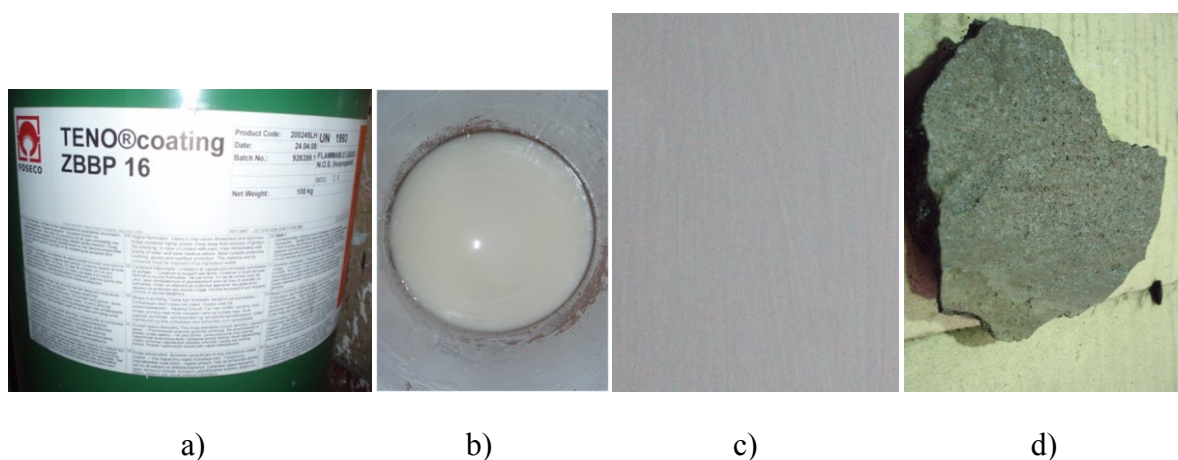
Stejná nátěrová hmota jako Konfix ZK. Vlastní stejné chemické vlastnosti, jediný rozdíl je v barvě. Tento nátěr je zbarven do červena a používá se jako první nátěr, jako podklad pod nátěr Konfix ZK. Slouží k lepšímu rozeznání nanesených vrstev. Vzhled nátěru při míchání a nanášení je na obr. 36.



Obr. 36. Vzhled nátěru Konfix ZKR: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání

### 4. Teno Coating ZBBP 16

Zirkonový bílý nátěr, vysoce viskózní. Jako nosná kapalina slouží alkohol. Jeho hustota je přibližně  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . Jedná se o disperzi žáruvzdorného plniva v organickém rozpouštědle. Procento obsahu pevných látek je asi 77 %. Přibližně 76 % materiálu žáruvzdorného plniva sestává z orthokřemičitanu zirkoničitého, modifikovaného malým množstvím křemičitanu hlinitého. Vzhled nátěru při míchání, nanášení a po odlití odlitku je na obr. 37.



Obr. 37. Vzhled nátěru Teno Coating ZBBP 16: a) plechovka, b) příprava-míchání, c) natírání, d) vzorek po odlití

## 5.4 Vlastní experiment

Na patnácti tvarově odlišných odlitcích bylo použito osm různých nátěrů, u kterých byl měřen počet nanesených vrstev, tloušťka vrstvy viz obr. 38, aktuální hmotnost nátěru a jeho hustota a nakonec výtok ze 4 mm Fordového pohárku viz obr. 39.

Simulací na programu MAGMASOFT, byla na odlitcích predikována místa, na kterých by se mohli vyskytovat připečeniny. V místech na které software upozorňoval, byl výskyt těchto vad na reálných odlitcích potvrzen a v daných oblastech se připečeniny skutečně vyskytovaly. Jednalo se především o místa více tepelně namáhaná, jako jsou krčky nálitků, jádra a jiné ostré přechody viz obr. 40 až 55.



Obr. 38. Kalibrované měřítko na měření tloušťky



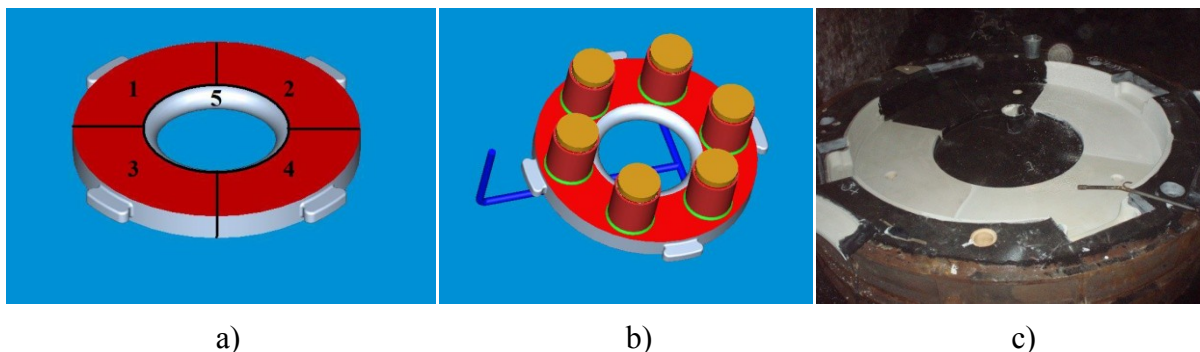
Obr. 39. Měření výtokové doby

### 5.4.1 Odlitek A1

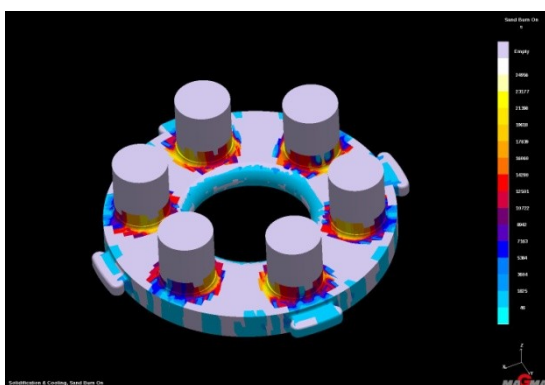
Název:	Poklička VD
Rozměry:	Ø 3 550 x 300 [mm]
Čistá hmotnost:	15 440 [kg]
Forma:	furanová pryskyřice-chromit

Odlitek pokličky byl odléván nízkouhlíkovou ocelí „arema“ jejíž chemické složení je patrné v příloze 4. Arema (ČSN 19 991) je nízkouhlíková ocel bez legur vhodná pro odlitky. Má menší pevnost v tahu ale zase vyšší houževnatost a je měkčí. Desoxidace této slitiny se provádí hliníkem.

Poklička byla rozdělena na pět částí, z toho čtyři byly stejné viz obr. 56. Na první a třetí část byly použity vodní nátěry Hydrolac AL90 (korund) a Konfix ZKR (zirkon), na zbylé dvě lihové nátěry Arkofluid 6277 (korund), Teno Coating ZBBP16 (zirkon). U jádra nelze změřit tloušťku, jelikož se zde nikde nenachází rovná plocha. Naměřené vlastnosti nátěrů jsou uvedeny v tab. 9.



Obr. 56. Odlitek A1: a) rozdělení pokličky, b) technologie, c) natírání



Obr. 40. Místa možného výskytu připečenin



Obr. 41. Připečeniny na reálném odlitku

Tabulka 9. Naměřené vlastnosti nátěrů

Vlastnosti nátěrů						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Hydrolac AL90	3	0,8	1919	1,919	40
2-forma	Arkofluid 6277	3	0,8	1726	1,726	24
3-forma	Teno Coating ZBBP16	3	0,8	1967	1,967	25
4.a.-forma	Konfix ZKR	1	0,5	1959	1,959	92
4.b.-forma	Konfix ZK	2		1937	1,937	68
5-jádro	Hydrolac AL90	3	nelze	2000	2,0	nelze

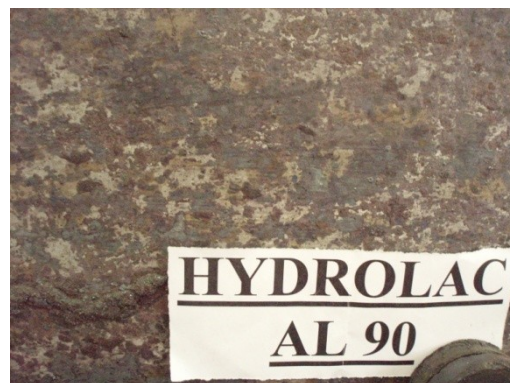


Jelikož nátěr Konfix ZKR tvoří podklad pod Konfix ZK, hodnotí se jen čtyři nátěry. Nejhuře dopadly nátěry Arkofluid 6277 a Hydrolac AL90, protože se na povrchu odlitku vyskytovaly lokální připečení a nátěr byl pevně přilnut k odlitku viz obr. 57 a 58.

Lépe dopadl nátěr Konfix ZKR-ZK a Teno Coating ZBBP16, kde byl povrch bez připečení a bez vad viz obr. 59 a 60.



Obr. 57. Povrchu odlitku s Arkofluidem 6277



Obr. 58. Povrchu odlitku s Hydrolacem AL90



Obr. 59. Povrchu odlitku s Konfixem ZKR-ZK

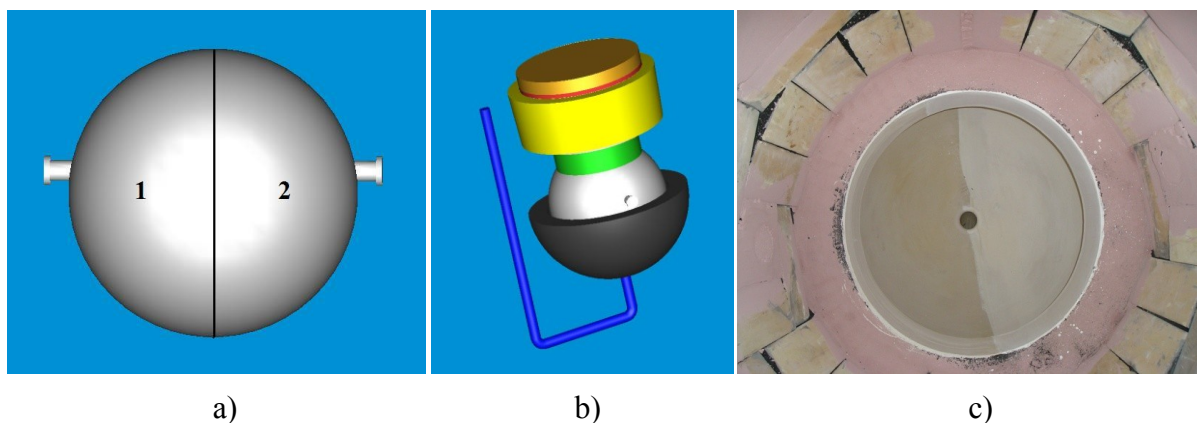


Obr. 60. Povrch odlitku s Teno Coatingem ZBBP16

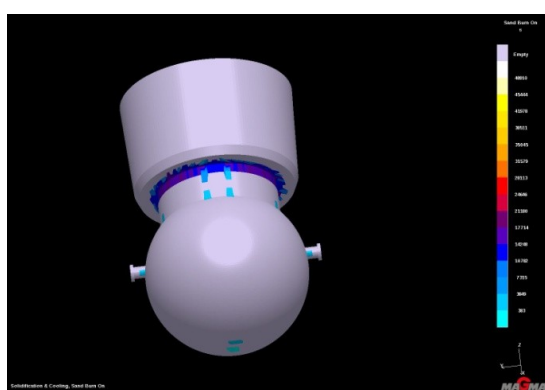
#### 5.4.2 Odlitek A2 a A3

Název:	Koule
Rozměry:	Ø1 250 x 1 250[mm]
Čistá hmotnost:	8 000 [kg]
Forma:	furanová pryskyřice-chromit

Odlitky dvou koulí byly odlévány ocelí ČSN 18630. Výsledky analýz kovu obou dvou odlitků jsou uvedeny v příloze 4. Koule byla vždy rozdělena na dvě poloviny obr. 61.



Obr. 61. Odlitek A2 a A3: a) rozdělení koule, b) technologie, c) nátěr



Obr. 42. Místa možného výskytu připečenin Obr. 43. Připečeniny na reálném odlitku

## A2

První část byla natřena Čínským lihovým zirkonovým nátěrem FQH-500 a druhá část vodním zirkonovým nátěrem Konfix ZK-ZKR. Naměřené vlastnosti nátěrů jsou uvedeny v tab. 10.

Tabulka 10. Naměřené vlastnosti nátěrů

Vlastnosti nátěrů						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	FQH-500	4	0,5	2060	2,060	18
2.a.-forma	Konfix ZKR	1	0,5	2060	2,060	44
2.b.-forma	Konfix ZK	2		1975	1,975	25

Lépe dopadl čínský nátěr, jelikož povrch odlitku byl naprosto bez vad. Kdežto povrch pod nátěrem Konfix ZK-ZKR byl zasažen lokálními připečeninami viz obr. 62 až 65.





Obr. 62. Připečeniny kolem nedostatečně upěchovaného čísla



Obr. 63. Hranice mezi FQH-500 a Konfix ZKR-ZK



Obr. 64. FQH-500-před tryskáním



Obr. 65. Konfix ZKR-ZK-před tryskáním

### A3

U druhého odlitku rozbíjecí ocelové koule byly použity vodní nátěry, korundový Hydrolac AL90 a zirkonový Konfix ZK-ZKR. Naměřené vlastnosti nátěrů jsou uvedeny v tab. 11.

Tabulka 11. Naměřené vlastnosti nátěrů

Vlastnosti nátěrů						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Hydrolac AL90	3	0,5	1990	1,990	34
2.a.-forma	Konfix ZKR	1	0,5	2060	2,060	44
2.b.-forma	Konfix ZK	2		1975	1,975	25

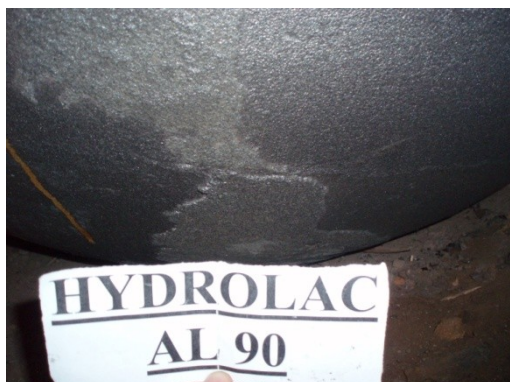
Nejhůře se jevil nátěr Hydrolac AL90. Pod tímto vodním nátěrem se vyskytovaly časté velké připečeniny. Explosivní penetrace nešla odstranit z odlitku ani přetryskáním. Povrch pod nátěrem Konfix ZKR-ZK nesl opět stopy lokálních připečenin, které se však snadno otryskaly viz obr. 66 až 69.



Obr. 66. Hranice mezi Konfixem ZKR-ZK a FQH-500



Obr. 67. Hydrolac AL90-před tryskání



Obr. 68. Explosivní penetrace po tryskání pod nátěrem Hydrolac AL90



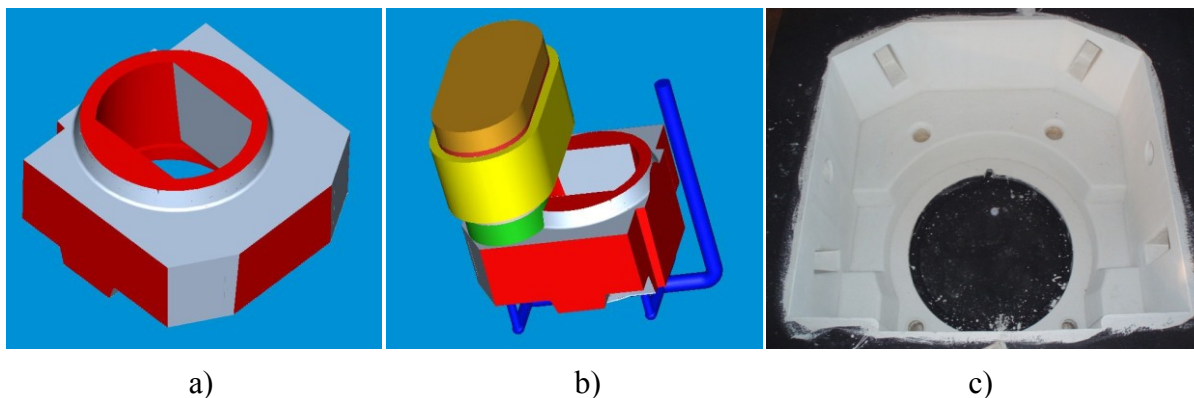
Obr. 69. Detail povrchu Konfix ZKR-ZK před tryskáním

### 5.4.3 Odlitek A4 až A7

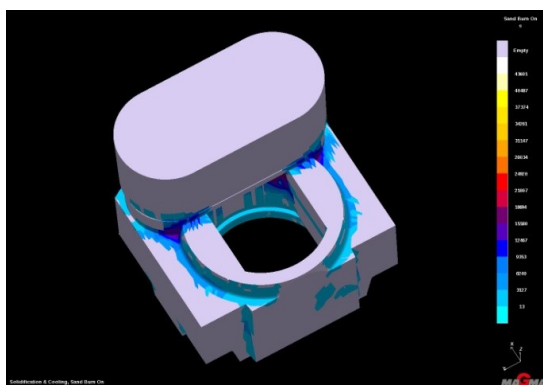
Název:	Ložisko horní
Rozměry:	Ø1 260 x 1 217,50 x 695 [mm]
Čistá hmotnost:	3 633,30 [kg]
Forma:	furanová pryskyřice-chromit

Každé ze čtyř horních ložisek bylo odléváno stejným typem slitiny, ale různou tavbou. Chemická analýza všech čtyř taveb je uvedena v příloze 4. Ložiska nebyly tvarově děleny a každé je natřeno jedním typem nátěru. Tvar odlitku horního ložiska s technologií a pohled na nátěr je na obr. 70.





Obr. 70. Odlitek A4 až A7: a) rozdělení ložiska, b) technologie, c) nátěr



Obr. 44. Místa možného výskytu připečení



Obr. 45. Připečeníny na reálném odlitku

#### A4 – Arkopal 6473

První ze čtyř horních ložisek bylo natřeno vodním, korundovým nátěrem Arkopal 6473. Jedná se o nejdražší nátěr. Naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 12.

Tabulka 12. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Arkopal 6473	3	0,8	1963	1,963	25
2-jádro	Arkopal 6473	3	0,7	1963	1,963	25

Povrch odlitku pod nátěrem Arkopal 6473 byl zasažen drobnými penetracemi. V koutech odlitku a na místech více tepelně namáhaných se tvořily připečení viz obr. 71 a 72.



Obr. 71. Masivní připečenina



Obr. 72. Detail povrchu ložiska po otryskání

#### A5 – Arkopal 6473

Druhé horní ložisko bylo opět natřeno Arkopalem 6473. Naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 13.

Tabulka 13. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Arkopal 6473	3	0,7	1963	1,963	25
2-jádro	Arkopal 6473	3	0,7	1963	1,963	25

Povrch odlitku byl stejný jak u předešlého odlitku. Opět v místě více tepelně namáhaném se našla explozivní penetrace, která se musela zdlouhavě vyvažovat uhlíkovou elektrodou na čistírně viz obr. 73 a 74.



Obr. 73. Explozivní penetrace v podobném místě jako u odlitku A4



Obr. 74. Odstranění vady

#### A6 – Hydrolac AL90

Na třetí ložisko byl použit vodní korundový nátěr a opět naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 14.

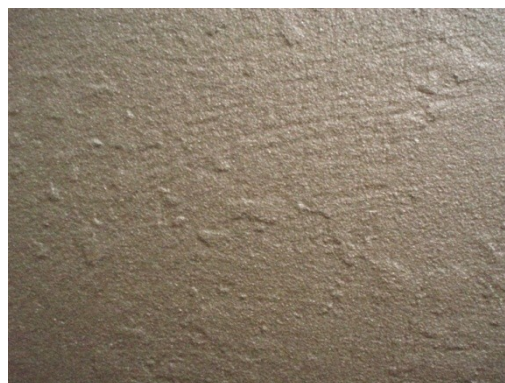
Tabulka 14. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Hydrolac AL90	3	0,5	2000	2,0	nelze
2-jádro	Hydrolac AL90	3	0,5	2000	2,0	nelze

Znovu na místech více tepelně namáhaných se tvořily zapečeniny, navíc se objevovaly lokální připečeniny, na rovném povrchu odlitku, které zde zůstali i po otryskání viz obr. 75 a 76.



Obr. 75. Detail povrchu ložiska po otryskání



Obr. 76. Lokální připečeniny na otryskaném odlitku

#### A7 – Teno Coating ZBBP16

Poslední ze čtyř horních ložisek bylo natřeno alkoholovým zirkonovým nátěrem. Naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 15.



Tabulka 15. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Teno Coating ZBBP16	3	0,6	2000	2,0	20
2-jádro	Teno Coating ZBBP16	3	0,6	2000	2,0	20

V tomto případě odlitek dopadl nejlépe. Povrch odlitku byl čistý, bez připečenin. Ani v koutech odlitku na nejvíce tepelně exponovaných místech nebyly zapečeniny viz obr. 77 a 78.



Obr. 77. Detail povrchu ložiska po tryskání

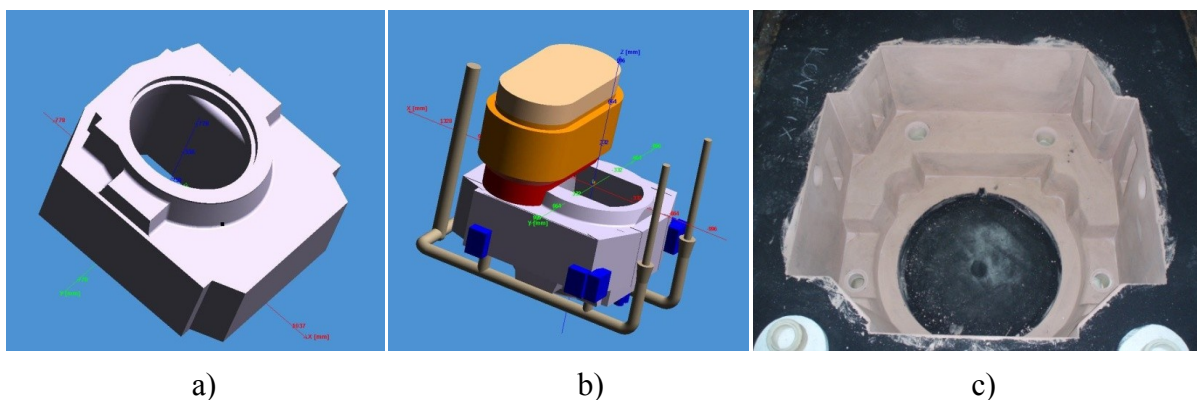


Obr. 78. Hladký povrch odlitku

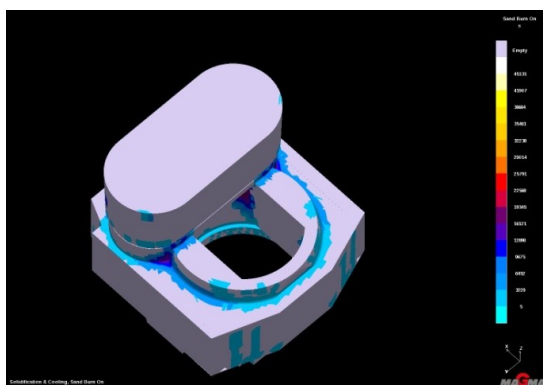
#### 5.4.4 Odlitek A8 až A11

Název: Ložisko dolní  
 Rozměry: Ø1 260 x 1 217,50 x 695 [mm]  
 Čistá hmotnost: 3 155,00 [kg]  
 Forma: furanová pryskyřice-chromit

Každé ze čtyř dolních ložisek bylo odléváno stejným typem slitiny, ale opět jinou tavbou. Chemické složení všech čtyř taveb je znovu poznamenáno v příloze 4. Dolní ložiska nebyly tvarově děleny a každé je natřeno jedním typem nátěru. Tvar odlitku horního ložiska s technologií a pohled na nátěr je na obr. 79.



Obr. 79. Odlitek A8 až A11: a) rozdělení ložiska, b) technologie, c) nátěr



Obr. 46. Místa možného výskytu přípečenin



Obr. 47. Přípečeniny na reálném odlitku

## A8 – Konfix ZKR-ZK

Na první ze čtyř dolních ložisek byl použit zirkonový vodní nátěr Konfix ZKR-ZK. Naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 16.

Tabulka 16. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1.a-forma	Konfix ZKR	1	0,7	2000	2,0	62
1.b-forma	Konfix ZK	2		1960	1,960	28
2.a-jádro	Konfix ZKR	1	0,6	2000	2,0	62
2.b-jádro	Konfix ZK	2		1960	1,960	28

Otryskaný povrch odlitku byl opět v rozích zasažen penetrací, rovný povrch však byl bez vad viz obr. 80 a 81.



Obr. 80. Detail povrchu ložiska



Obr. 81. Tenká připečenina v koutě odlitku

#### A9 – Konfix ZKR-ZK

Druhé dolní ložisko bylo natřeno opět Konfixem ZKR-ZK. Naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 17.

Tabulka 17. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1.a-forma	Konfix ZKR	1	0,5	2000	2,0	62
1.b-forma	Konfix ZK	2		1960	1,960	28
2.a-jádro	Konfix ZKR	1	0,6	2000	2,0	62
2.b-jádro	Konfix ZK	2		1960	1,960	28

Druhý odlitek dolního ložiska ze stejného nátěru dopadl trochu hůře. Nejenže se vady vyskytly v koutě odlitku, ale i rovná plocha odlitku byla zasažena tenkou explozivní penetrací viz obr. 82 a 83.



Obr. 82. Detail připečeniny v koutě ložiska



Obr. 83. Detail explozivní tenké penetrace



### A10 – Teno Coating ZBBP16

Na odlitku A10 byl vyzkoušen alkoholový, zirkonový nátěr Teno Coating ZBBP16. Naměřené hodnoty nátěru jsou uvedeny v tab. 18.

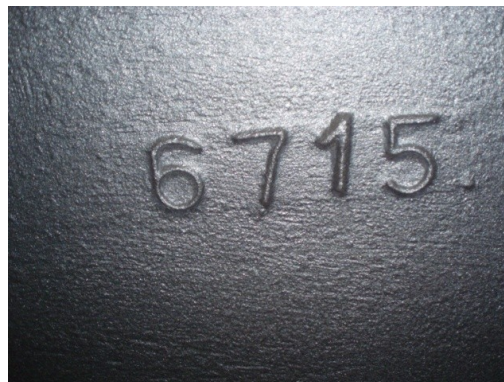
Tabulka 18. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Teno Coating ZBBP16	3	0,6	2000	2,0	20
2-jádro	Teno Coating ZBBP16	3	0,6	2000	2,0	20

V tomto případě odlitek dopadl opět nejlépe. Povrch odlitku byl čistý, bez jakýchkoliv vad a připečenin viz obr. 84 a 85.



Obr. 84. Detail povrchu ložiska před otryskáním



Obr. 85. Detail povrchu ložiska po otryskání

### A11 – Hydrolac AL90

Třetí odlitek dolního ložiska byl natřen vodním korundovým nátěrem a opět naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 19.

Tabulka 19. Naměřené vlastnosti nátěru

Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Hydrolac AL90	3	0,5	2000	2,0	nelze
2-jádro	Hydrolac AL90	3	0,5	2000	2,0	nelze

Na posledním dolním ložisku se objevily vady typů výronků. Znovu byla místa s vyšším tepelným namáháním zasažena připečeninami. Vrstva spečeného nátěru byla pevně usazená na odlitku viz obr. 86 a 87.



Obr. 86. Detail povrchu ložiska po otryskání



Obr. 87. Výronek na vnější ploše odlitku

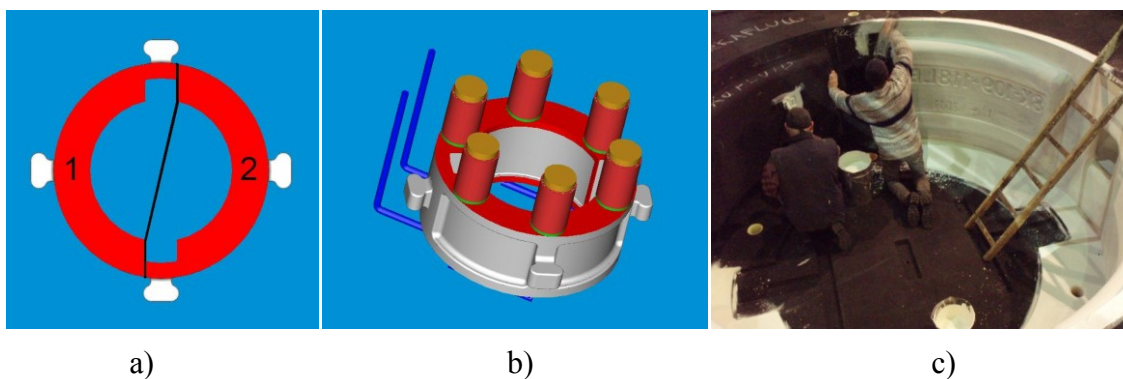
#### 5.4.5 Odlitek A12

Název:	Hlavový nádstavec 8K-109-118LE
Rozměry:	Ø 3 740 x 1 200 [mm]
Čistá hmotnost:	28 850 [kg]
Forma:	furanová pryskyřice-křemenný písek (forma), chromit (jádra)

Odlitek hlavového nádstavce byl rozdělen na dvě poloviny. První část byla natřena vodním korundovým nátěrem Hydrolac AL90 a druhá část alkoholovým korundovým nátěrem Arkofluid 6277 viz obr. 88.

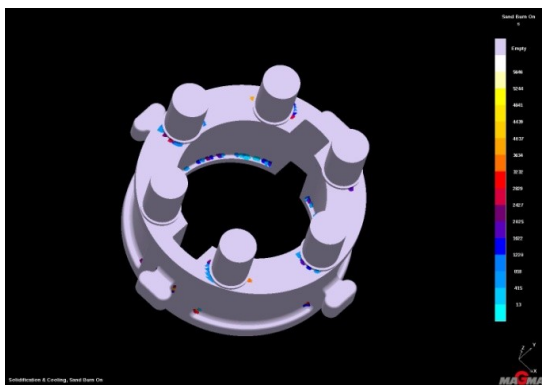
Hlavový nádstavec byl formován do směsi s křemenným pískem, jen určité části odlitku (jádra) byly zaformovány do chromitu. Naměřené vlastnosti nátěrů jsou uvedeny v tab. 20.

Chemická analýza kovu a typ slitiny je uveden v příloze 4.



Obr. 88. Odlitek A12: a) rozdělení hlavového nádstavce, b) technologie, c) natírání





Obr. 48. Místa možného výskytu pripečenin



Obr. 49. Pripečeniny na reálnom odlitku

Tabulka 20. Naměřené vlastnosti nátěrů

Vlastnosti nátěrů						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Hydrolac AL90	3	0,5	1937	1,937	34
2-forma	Arkofluid 6277	3	0,5	1796	1,796	25

Jednoznačně lépe dopadl alkoholový korundový nátěr. Ve spodní části odlitku a v oblastech vyššího tepelného namáhání, docházelo k silným pripečeninám u obou nátěrů. Slévárenské žebra byla silně zapečená a musela se vypalovat uhlíkovou elektrodou. Častý byl výskyt masivních penetrací. Na povrchu odlitku, který byl ošetřen nátěrem Hydrolac AL90, byly nalezeny i plynové vady, které mohli vzniknout špatným odvzdušněním formy, nebo špatnou prodyšností nátěru. Plynové vady se však nevyskytovaly u nátěru Arkofluid 6277. Nalezla se i zateklina u jednoho z vnitřních jader, vznikla z důvodu netěsnosti mezi jádrem a formou viz obr. 89 až 92.

Velký výskyt objevených vad lze jednoznačně přiřadit typu formovací směsi a nedá se tedy přímo určit, zda použité nátěry měli vliv na výsledné povrchové jakosti.



Obr. 89. Vyvařovaný povrch odlitku



Obr. 90. Penetrace kovu ve spodní části odlitku



Obr. 91. Zateklina

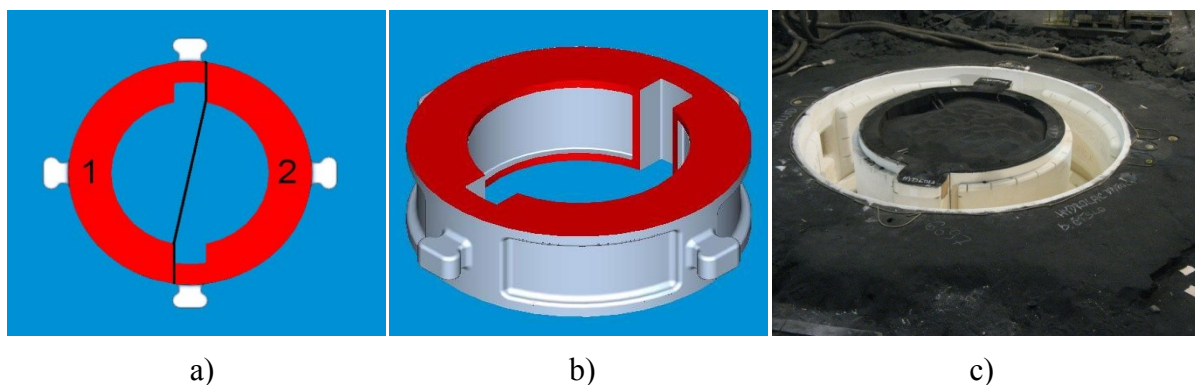


Obr. 92. Detail plynových vad-nátěr Hydrolac AL90

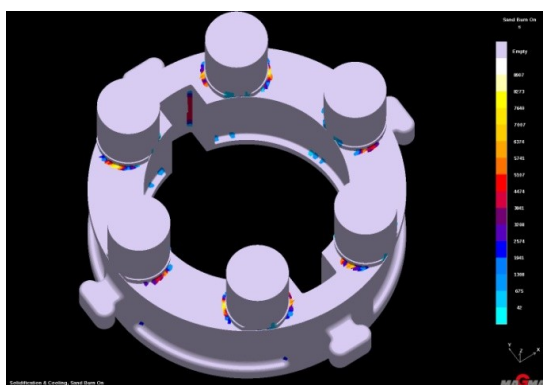
#### 5.4.6 Odlitek A13

Název:	Hlavový nástavec
Rozměry:	Ø 4 600 x 1 200 [mm]
Čistá hmotnost:	49 400 [kg]
Forma:	furanová pryskyřice-chromit

Odlitek hlavového nástavce byl také rozdělen na dvě poloviny. První část byla natřena nátěrem vodním korundovým nátěrem Hydrolac DP/80 CD s vyšší prodyšností a druhá část alkoholovým korundovým nátěrem Arkofluid 6277 viz obr. 93. Naměřené vlastnosti nátěrů jsou uvedeny v tab. 21. Chemické složení a typ dané slitiny je uveden v příloze 4.



Obr. 93. Odlitek A13: a) rozdělení hlavového nástavce, b) 3d, c) natřená forma



Obr. 50. Místa možného výskytu připečenin



Obr. 51. Připečeniny na reálném odlitku

Tabulka 21. Naměřené vlastnosti nátěrů

Vlastnosti nátěrů						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Hydrolac DP/80 CD	2	0,5	2060	2,060	41
2-forma	Arkofluid 6277	2	0,5	1960	1,960	25

Licí hlava byla prakticky bez vad, v místech vyššího tepelného namáhání a ve spodních částech odlitku se přepečeniny nevyskytovaly. Pomocná slévárenská žebra byla čistá a zdá se, že i vyšší prodyšnost vodního korundového nátěru Hydrolac DP/80 CD zafungovala viz obr. 94 až 97.





Obr. 94. Detail povrchu opatřeného nátěrem Hydrolac DP/80 CD



Obr. 95. Povrch opatřený nátěrem Arkofluid 6277



Obr. 96. Detail povrchu po tryskání - nátěr Hydrolac DP/80 CD



Obr. 97. Detail povrchu po tryskání - nátěr Arkofluid 6277

#### 5.4.7 Odlitek A14

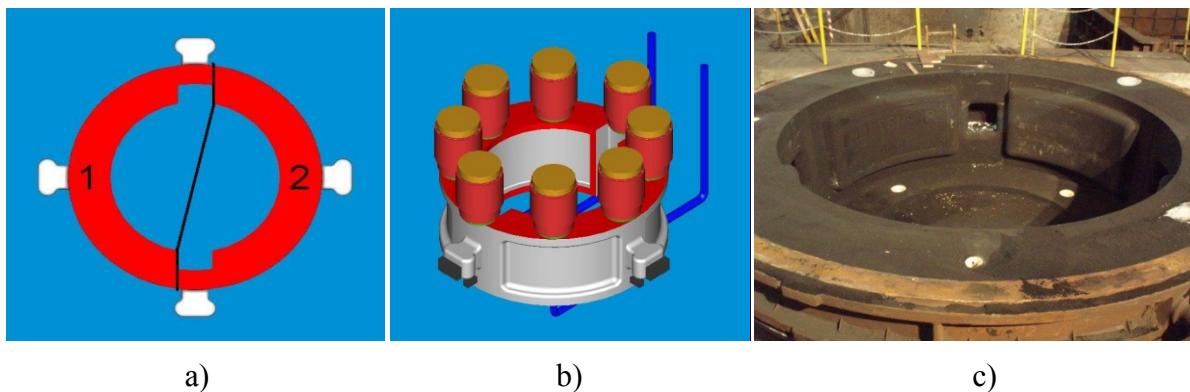
Název: Hlavový nádstavec 8K-137 LE

Rozměry: Ø 4 200 x 1 200 [mm]

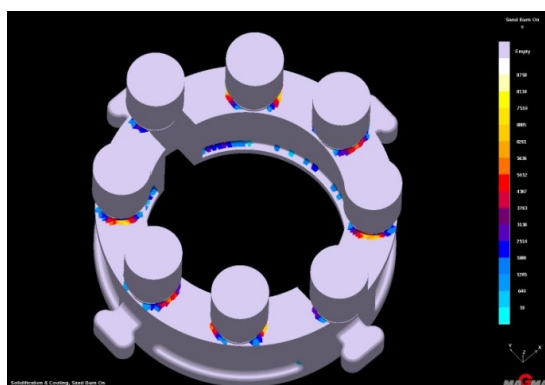
Čistá hmotnost: 36 750 [kg]

Forma: furanová pryskyřice-křemenný písek (forma), chromit (jádra)

Odlitek hlavového nádstavce byl rozdělen na dvě poloviny. První část byla natřena vodním zirkonovým nátěrem Konfix ZKR-ZK, a druhá část vodním korundovým nátěrem Arkopal 6473 viz obr. 98. Hlavový nádstavec byl formován do směsi s křemenným pískem, jen určité části odlitku (jádra) byly zaformovány do chromitu. Naměřené vlastnosti nátěrů jsou uvedeny v tab. 22. Chemické složení a typ použité slitiny je v příloze 4.



Obr. 98. Odlitek A14: a) rozdělení hlavového nástavce, b) technologie, c) forma před natíráním



Obr. 52. Místa možného výskytu připečenin



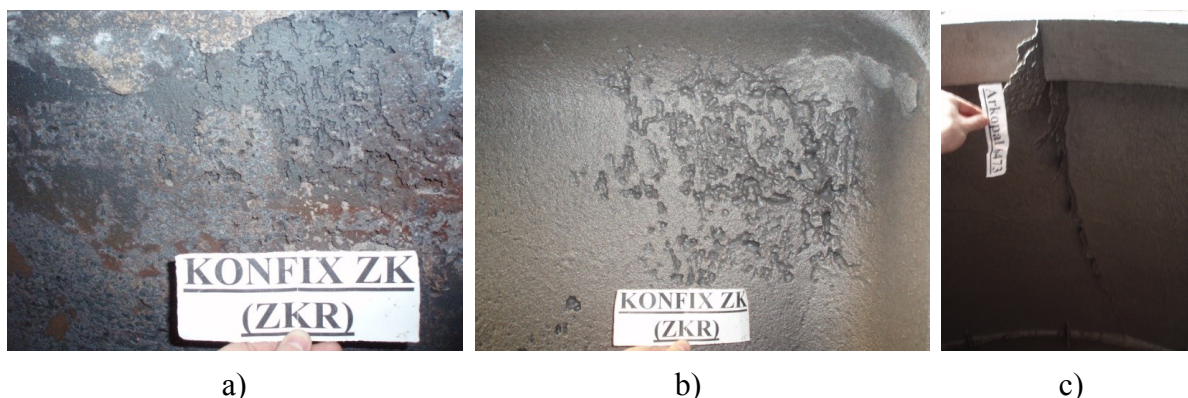
Obr. 53. Připečeniny na reálném odlitku

Tabulka 22. Naměřené vlastnosti nátěrů

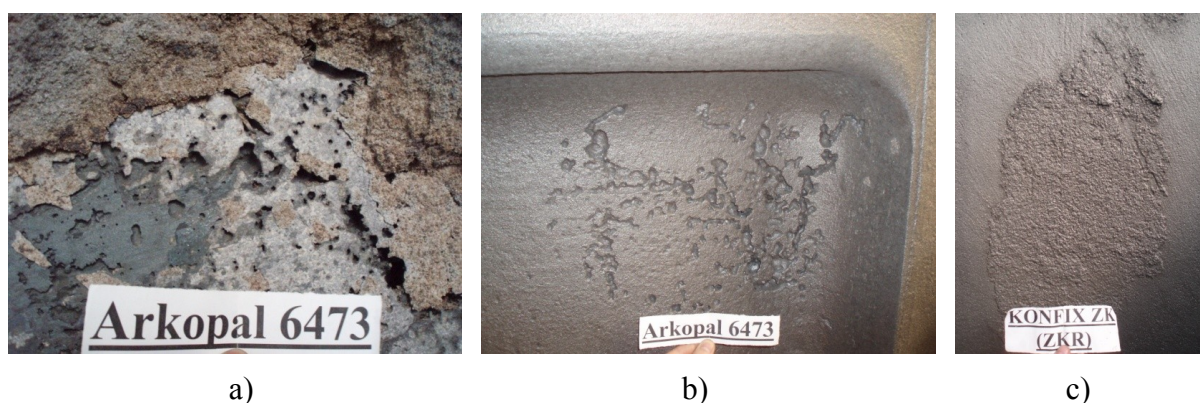
Vlastnosti nátěrů						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-forma	Arkopal 6473	2	0,6	2100	2,1	25
2.a.-forma	Konfix ZKR	1	0,5	2010	2,010	42
2.b.-forma	Konfix ZK	2		1950	1,950	36

Odlitek byl hodně zasažen vadami. Jednalo se o plynové vady, explozivní penetrace a výronky z důvodu prasknutí vnitřního jádra. Obzvláště velký byl rozsah plynových dutin, který byl nejpravděpodobněji způsoben nedostatečným odvodem plynů z formy a nedostatečnou prodyšností nátěru viz obr. 99 a 100. Velký výskyt objevených vad lze jednoznačně přiřadit typu formovací směsi a nedá se tedy přímo určit, zda použité nátěry měly vliv na výsledné povrchové jakosti.





Obr. 99. Vady na odlitku A14: a) detail plynových vad před otryskáním-nátěr Konfix ZK-ZKR, b) detail plynových vad po otryskání-nátěr Konfix ZK-ZKR, c) výronek na vnitřní ploše

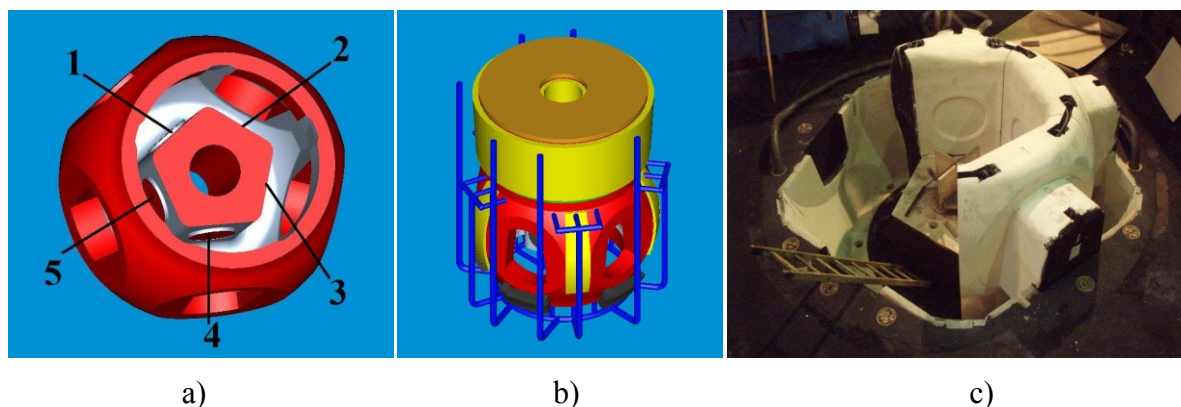


Obr. 100. Vady na odlitku A14: a) detail plynových vad před otryskáním- nátěr Arkopal 6473, b) detail plynových vad po otryskání- nátěr Arkopal 6473, c) explozivní penetrace

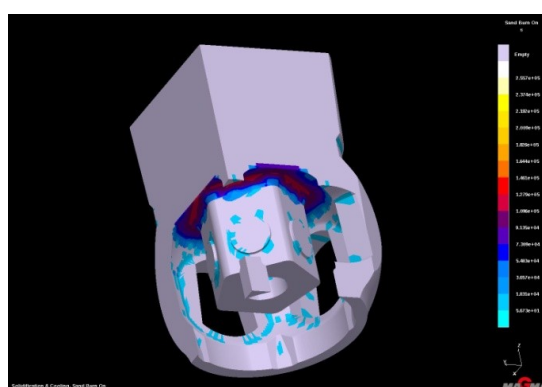
#### 5.4.8 Odlitek A15

Název: Náboj IMPSA MENDOZA  
 Rozměry: Ø 3 870 x 2 830 [mm]  
 Čistá hmotnost: 82 758 [kg]  
 Forma: furanová pryskyřice-chromit

Na odlitku náboje byly zkoumány vnitřní povrchy, které měli kontakt s pěti velkými jádry, které byly natřeny jedním nátěrem, viz obr. 101. Tento vodní korundový nátěr byl Hydrolac AL90 a byla mu podle úvahy měněna a zředňována hustota. Naměřené vlastnosti nátěru jsou uvedeny v tab. 23. Chemické složení všech taveb i s „dolívačkami“ jsou poznamenány v příloze 4.



Obr. 101. Odlitek A15: a) rozložení zkoumaných pěti jader náboje, b) technologie, c) skládání natřených jader



Obr. 54. Řez nábojem-místa možného výskytu přípečen



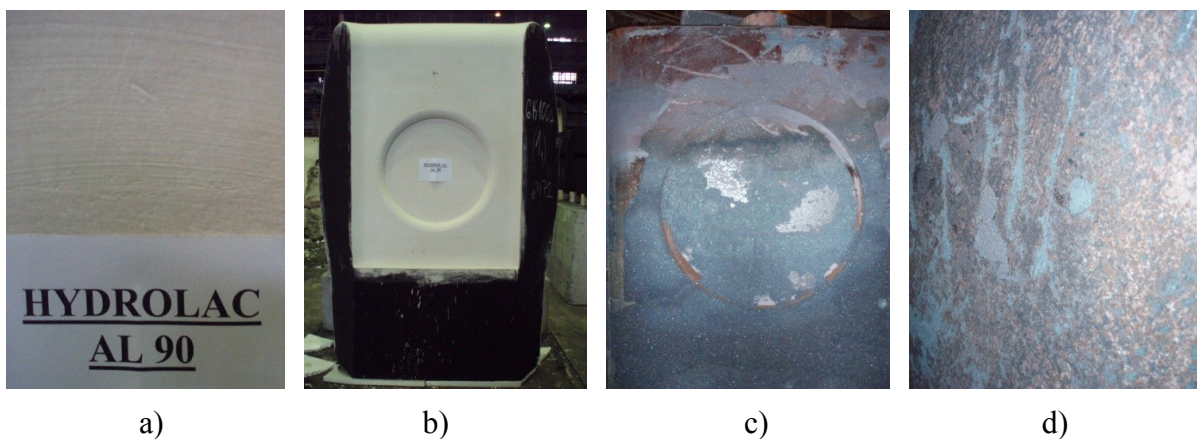
Obr. 55. Přípečeniny na reálném odlitku

Tabulka 23. Naměřené vlastnosti nátěru

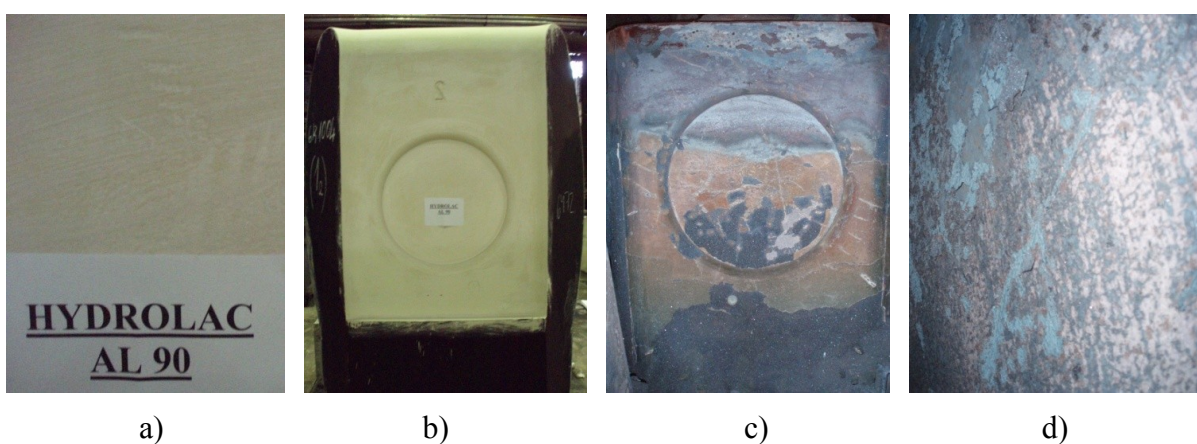
Vlastnosti nátěru						
segment	typ nátěru	vrstvy nátěru	tloušťka tří nátěrů [mm]	hmotnost 1 litru [g/dm <sup>3</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Fordův pohárek [s]
1-jádro	Hydrolac AL90	3	1,0	2000	2,0	nelze
2-jádro	Hydrolac AL90	3	0,8	1970	1,970	128
3-jádro	Hydrolac AL90	3	0,8	1970	1,970	128
4-jádro	Hydrolac AL90	3	0,8	1933	1,933	63
5-jádro	Hydrolac AL90	3	0,75	1889	1,889	35

Povrchy odlitku ani pod jedním jádrem nenesly stopy jakékoliv odlišnosti. Odlišná hustota nátěru se nijak neprojevila a nebyly nalezeny žádné vady. Všechny plochy byly místy přípečené, ale po očištění byl povrch hladký, viz obr. 102 až 106. Výrobní proces na odlitku stále pokračuje, proto nejsou výsledky kompletní, z těchto důvodů nebyly tyto výsledky zahrnuty do poslední části diplomové práce, kde se hodnotí celkově vlastnosti nátěrů na povrchovou jakost.

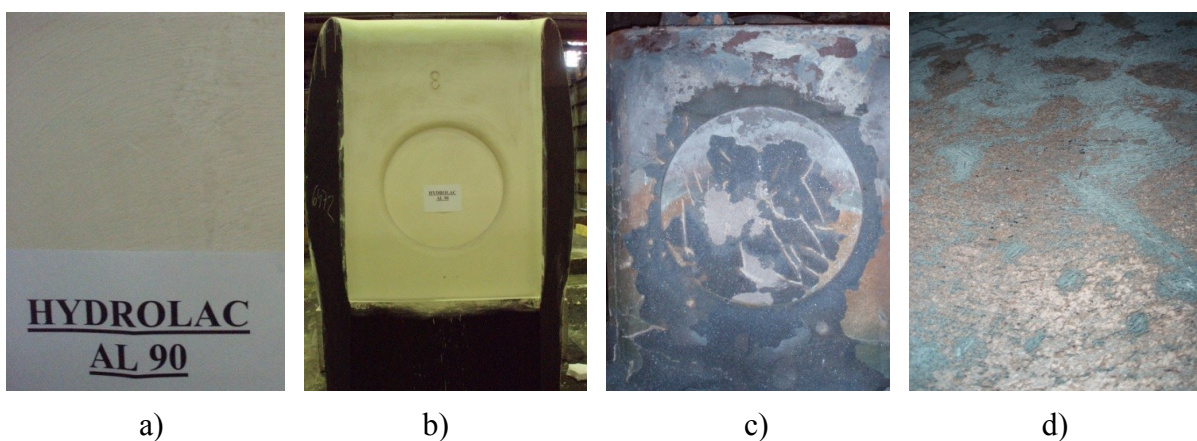




Obr. 102. Jádru číslo 1 – a) detail naneseného nátěru, b) detail jádra, c) plocha náboje po odlití, d) detail povrchu odlitku před tryskáním

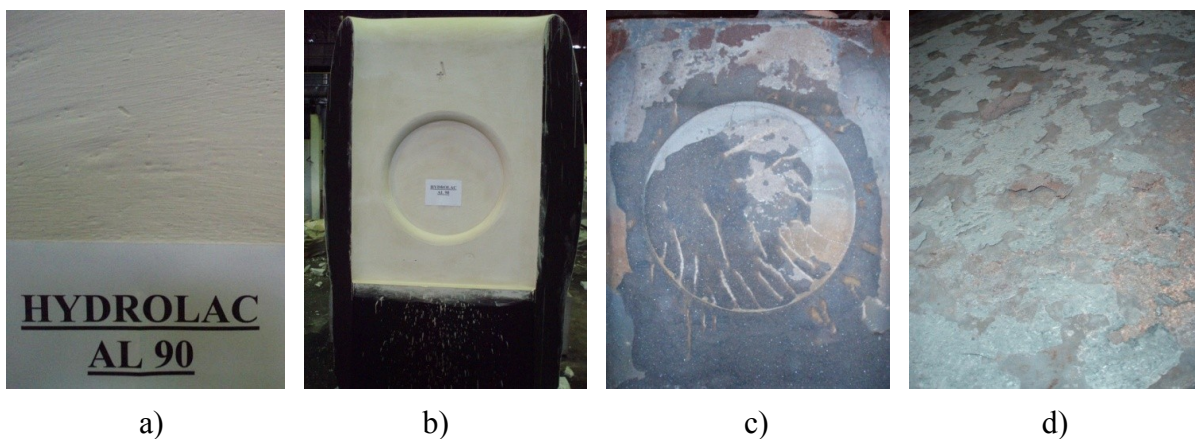


Obr. 103. Jádru číslo 2 – a) detail naneseného nátěru, b) detail jádra, c) plocha náboje po odlití, d) detail povrchu odlitku před tryskáním

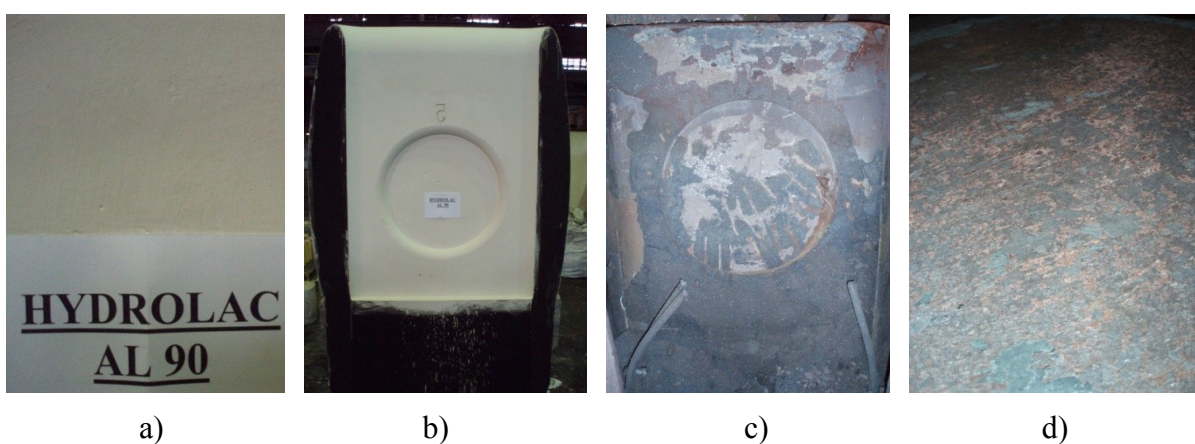


Obr. 104. Jádru číslo 3 – a) detail naneseného nátěru, b) detail jádra, c) plocha náboje po odlití, d) detail povrchu odlitku před tryskáním





Obr. 105. Jádru číslo 4 – a) detail naneseného nátěru, b) detail jádra, c) plocha náboje po odlití, d) detail povrchu odlitku před tryskáním



Obr. 106. Jádru číslo 5 – a) detail naneseného nátěru, b) detail jádra, c) plocha náboje po odlití, d) detail povrchu odlitku před tryskáním

## 5.5 Zařazení povrchových vad dle norem

K zařazení odlitků podle jakosti povrchu byla použita česká verze evropské normy, která má status české technické normy. Tato norma se používá pro vizuální kontrolu povrchových vad u ocelových odlitků odlévaných do běžných pískových forem. Základem pro toto hodnocení je sada srovnávacích komparátorů obsahující repliky reálných vad odlitků.

Česká verze je ČSN 12454:1998

Evropská verze je ASTM A802/A802M-95

Sada obsahuje devět kategorií. Pro tyto kategorie byly zvoleny 2,3 nebo 4 stupně jakosti se stoupajícími nároky viz tab. 24.

Tabulka 24. Rozdělení sady

Kategorie	Stupně jakosti			
	1	2	3	4
	Značení			
Drsnosti povrchu	A1	A2	A3	A4
Nekovové vměstky	B1	B2	B4	B5
Bubliny	C1	C2	C3	C4
Zavaleniny	-	D1	D2	D5
Přípečeniny	-	-	E3	E5
Kovové vměstky	-	-	F1	F3
Zbytky po odstranění kovu-tepelné	G1	G2	G3	G5
Zbytky po odstranění kovu-mechanické	H1	H3	H4	H5
Svary	J 1	J2	J3	J5

Pro naše účely byly použity tři kategorie. Porovnávána byla drsnost povrchu, bubliny a přípečeniny. Zbytek kategorií se na odlitcích nevyskytoval. Celkové výsledky všech zkoumaných odlitků a jejich zařazení dle druhu, velikosti a výskytu vady je možné porovnat v příloze 5.

### 5.5.1 Vyhodnocení lihových nátěrů

Ze tří lihových nátěrů nejlépe dopadly zirkonové nátěry Teno Coating ZBBP 16 a FQH 500 viz tab. 25 a 26, vyšší výskyt přípečenin byl odhalen u korundového nátěru Arkofluid 6277 viz tab. 27, kde u odlitku A12 byly nalezeny povrchové přípečeniny. Z grafu lze posoudit výskyt přípečenin dle ČSN 12454:1998 u konkrétních odlitků viz obr. 107.

Tabulka 25. Výskyt přípečenin u odlitků s nátěrem Teno Coating ZBBP16

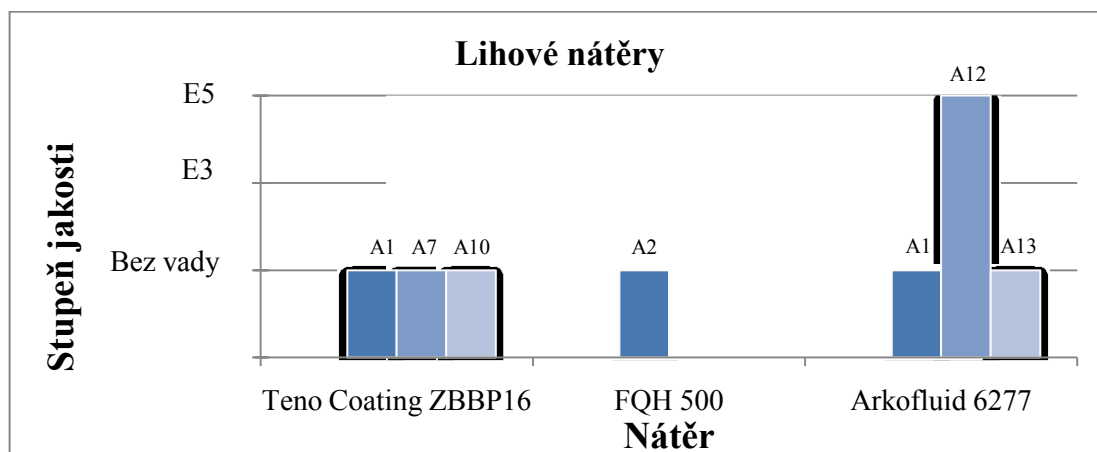
Teno Coating ZBBP16									
Kategorie	drsnosti povrchu			bubliny			přípečeniny		
Odlitek	A1	A7	A10	A1	A7	A10	A1	A7	A10
Vyhodnocení	A1	A1	A1	C1	-	-	-	-	-

Tabulka 26. Výskyt přípečenin u odlitků s nátěrem FQH 500 (Sheng Quan)

FQH 500 (Sheng Quan)			
Kategorie	drsnosti povrchu	bubliny	přípečeniny
Odlitek	A2		
Vyhodnocení	A1	-	-

Tabulka 27. Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Arkofluid 6277

Arkofluid 6277									
Kategorie	drsnoti povrchu			bubliny			připečeniny		
Odlitek	A1	A12	A13	A1	A12	A13	A1	A12	A13
Vyhodnocení	A2	A1	A1	C3	C1	C1	-	E5	-



Obr. 107. Porovnání výskytu připečenin u jednotlivých lihových nátěrů

### 5.5.2 Vyhodnocení vodních nátěrů

Vodní nátěry dopadly ve srovnání s alkoholovými trochu hůře. O trochu lépe se opět jevil zirkonový nátěr Konfix ZKR-ZK viz tab. 29. Korundový nátěr Hydrolac DP/80 CD, u kterého výrobce avizoval vyšší prodyšnost a který byl bohužel použit jen na jediný odlitek byl nejlepší viz tab. 28. Na posledních místech se umístily dva vodní korundové nátěry Arkopal 6473 a Hydrolac AL90 viz tab. 30 a 31. Arkopal 6473 byl velkým zklamáním už kvůli své vysoké ceně. Z grafu lze posoudit výskyt připečenin dle ČSN 12454:1998 u konkrétních odlitků viz obr. 108.

Tabulka 28. Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Hydrolac DP/80 CD

Hydrolac DP/80 CD			
Kategorie	drsnoti povrchu	bubliny	připečeniny
Odlitek	A13		
Vyhodnocení	A1	C1	-

Tabulka 29. Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Konfix ZKR-ZK

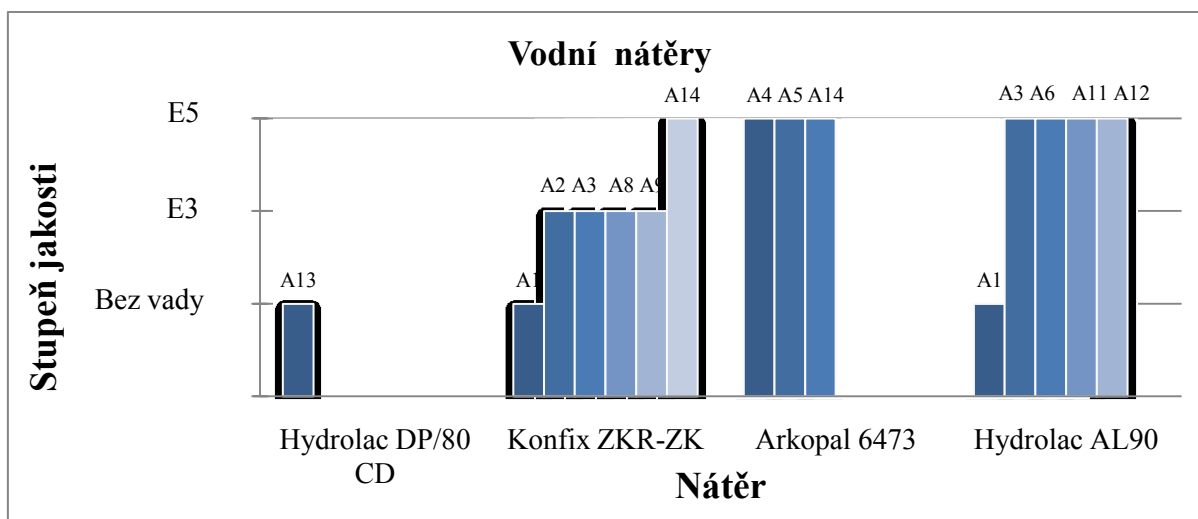
Konfix ZKR-ZK																		
Kategorie	drsnosti povrchu						bubliny						připečeniny					
Odlitek	A1	A2	A3	A8	A9	A14	A1	A2	A3	A8	A9	A14	A1	A2	A3	A8	A9	A14
Hodnocení	A1	A1	A1	A1	A2	A2	C2	-	-	-	-	C4	-	E3	E3	E3	E3	E5

Tabulka 30. Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Arkopal 6473

Arkopal 6473									
Kategorie	drsnosti povrchu			bubliny			připečeniny		
Odlitek	A4	A5	A14	A4	A5	A14	A4	A5	A14
Vyhodnocení	A2	A2	A2	C1	C1	C4	E5	E5	E5

Tabulka 31. Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Hydrolac AL90

Hydrolac AL90															
Kategorie	drsnosti povrchu					bubliny					připečeniny				
Odlitek	A1	A3	A6	A11	A12	A1	A3	A6	A11	A12	A1	A3	A6	A11	A12
Vyhodnocení	A2	A2	A2	A2	A2	C4	-	C1	C1	C4	-	E5	E5	E5	E5



Obr. 108. Porovnání výskytu připečenin u jednotlivých vodních nátěrů

## 6 SHRNUTÍ A ZÁVĚR

Náplní této diplomové práce bylo ověřit a vyhodnotit vliv žáruvzdorného ochranného nátěru na výslednou jakost povrchu odlitků ve VHM u samotvrdnoucích furanových směsí s chromitovým a křemenným ostrživem. Hlavním cílem bylo zabránit vzniku připečenin.

Z hlediska výběru nosné kapaliny jasně dominoval lihový nátěr před vodním. Lepší jakost ocelových odlitků, respektive povrchů, při použití lihového nátěru byla v této diplomové práci zcela jistě prokázána. Rychlost schnutí a aplikace lihových nátěrů je také jednou z výhod jejich používání, avšak hygiena a bezpečnost práce preferuje ve slévárnách těžkých ocelových odlitků nátěry vodní.

Posouzení výběru kvalitnějšího plniva do nátěrů bude poněkud náročnější. Po srovnání všech vlivů, které se podílí na konečné kvalitě povrchu ocelových odlitků litých do furan-chromitových směsí, vzešla jako vhodnější možnost výběru zirkonového plniva, zde však musíme podotknout, že při rozhodování mezi zirkonovým a korundovým plnivem je nutno provést více pokusů, s pokud možno co nejméně proměnnými v celém výrobním procesu. Volba zirkonového plniva, jako vhodnějšího se potvrdila i v této diplomové práci a snad tomu je i proto, že žáruvzdornost zirkonu se udává kolem 2 200 °C, zatímco korundu „jen“ okolo 2 015 °C.

Nutno zkonstatovat, že v daných podmínkách, ve kterých experiment vznikal, vzešla jako nejkvalitnější kombinace (z hlediska povrchové jakosti) volba zirkonového lihového nátěru. Na reálných odlitcích při použití lihového zirkonového nátěru nedocházelo ani v místech vyššího tepelného namáhání k připečeninám, kdežto při použití vodního korundového nátěru bylo riziko vzniku připečenin mnohokrát vyšší, a to i na místech méně tepelně namáhaných. Zvýšené nebezpečí vzniků jiných vad typu bublin, drsnosti povrchu atd. (přibližně o 50 %), bylo prokázáno u vodních korundových nátěrů než u lihových zirkonových.

Kombinaci lihového zirkonového nátěru lze doporučit jako nejvhodnější volbu pro těžké ocelové odlitky lité do ST furanových směsí s chromitovým a křemenným ostrživem.

Na závěr je nutno dodat, že nekvalitně provedenou formu nezachrání ani sebelepší nátěr.

## Seznam použité literatury

- [1] Carbol, Z., Breyer, J., Pluháček, J., Šenberger, J., Záděra, A., Krutiš, V., Kováč, M.: Zvyšování jakosti těžkých ocelových odlitků ve slévárně Vítkovice Heavy Machinery, a. s., Slévárenství, 2009, č. 57, s. 332 – 336.
- [2] Jelínek, J.: Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí (Chemie slévárenských pojiv). Ostrava 2004, ISBN 80-239-2188-6.
- [3] Hrabina, D.: Využití formovacích směsí s vysokým chladicím účinkem při výrobě masivních ocelových odlitků, Slévárenství, 2004, č. 52, s. 28 - 29.
- [4] Lubojacký, M., Mikšovský, F., Fabianová, A., Ivanov, S., Facal, L.: Optimalizace přípravy samotvrdnoucí furanové směsi s chromitovým ostřivem v podmínkách výroby těžkých ocelových odlitků, Slévárenství, 2004, č. 52, s. 23 - 27.
- [5] Jelínek, P.: Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí (Ostřiva). Ostrava: OFTIS, 2000. 138 s. ISBN 80-238-6118-2
- [6] Charakteristika a vlastnosti chromitového písku (11.12. 2010), <http://www.sandteam.cz/nase-sluzby/chromit>
- [7] Cupák, P., Tomáš, K. Zkušenosti s nekřemennými ostřivy ve slévárně oceli ŠMERAL Brno, a.s., Slévárenství, 2006, č. 54, s. 222-226, ISSN 0037-6825
- [8] Rusín, K. a kol.: Slévárenské formovací materiály. Praha: SNTL, 1991. 392 s. ISBN 80-03-00278-8
- [9] Hrazdíra, M.: Možnosti snížení nákladů použitím ostřiva Grudzeň Las, Slévárenství, 2005, č.53, s. 180 - 181.
- [10] HÜTTENES-ALBERTUS Chemische Werke GmbH (10.2. 2011), <http://www.huettenes-albertus.com>
- [11] Ivanov, S., Pacal, L., Matlas, F., Lubojacký, M.: Některé praktické aspekty nové klasifikace slévárenských chemikálií, Slévárenství, 2011, č. 59, s. 28 – 29.
- [12] Chrást, J.: Slévárenská zařízení. Brno, 2006 akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-7204-456-7
- [13] FOSECO ČESKÁ s.r.o. , nyní VESUVIUS SLAVIA a.s. (21.4.2011), [http://www.foseco.cz/cz/products\\_and\\_services/Non\\_Ferrous\\_Foundry/Coatings.php](http://www.foseco.cz/cz/products_and_services/Non_Ferrous_Foundry/Coatings.php)

- [14] Schütze, N.: Auf die Anwendung abgestimmt, Giesserei – Erfahrungsaustausch, 2007, č.11, s. 33 - 38.
- [15] Elbel, T. a kol.: Vady odlitků ze slitin železa. 1. vyd. MATECS Brno, 199 339. s. ISBN 80-03–00372–3.
- [16] Psimenos, A. Ch., Wendl, S. G.: Der Schichtenentwicklung, Giesserei – Praxis, 2005, č.4, 177 - 189.
- [17] Stötzel, R., Koch, Ch.: Neuentwicklung von Schichten zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Gießereien, Giesserei – Praxis, 2006, č.3, s. 100 - 104.
- [18] Stotzel, R.; Koch, Ch.; Vondráček, R.: Dosažení lepší efektivity sléváren použitím nátěrů na formy a jádra připravených "na míru". Slévárenství, 2005, č.10, s. 472 - 475.
- [19] Šenberger, J., Bůžek, Z., Záděra, A., Stránský, K., Kafka, V.: Metalurgie oceli na odlitky, Brno 2008. ISBN 978-80-214-3632-9.
- [20] Cupák, P., Kamilo, T.: Oblast použitelnosti korundového nátěru pro výrobu odlitků z vysokolegované manganové oceli, Slévárenství, 2008, č. 56, s. 512 – 513.
- [21] Baker, A., Stephen G.: Evaluating Refractory Coatings: A Practical Approach. Modern Casting, 2002, č. 92, s. 21-23.
- [22] Ramrattan, S. N., Joyce, M. K. (20.2.2011), <http://www.Amc.atcorp.org> , Final Report - Refractory Coating Control.
- [23] Stötzel, R., Koch, C., Kloskowski, M., Brotzki, J., Schrod, M.: Wirkungsweise und Nutzen von grenzflächenaktiven Schichten, Giesserei – Praxis special, 2008, č.11, s. 407 - 411.
- [24] Pavla Grmolenská (Ing.): Ověřování parametrů slévárenských forem ovlivňujících penetraci při výrobě masivních ocelových odlitků. Diplomová práce VŠB-tu.
- [25] Bartsch, D. Seeger, K., Kaiser, H.D. (15.3. 2011), <http://www.Isdv.upv.cz>, dokument č. 284 147, Šlichta pro vytváření nátěrů forem, <http://www.isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=82986&lan=cs>
- [26] Nátěrové hmoty na pískové formy a jádra. Slévárenská ročenka 1987, Brno, ČV slévárenské společnosti ČSVTS, s. 89 -109

- [27] Krusenko, G.G., Litejnoje proizvodstvo, 2002, č. 2, s. 13-14
- [28] Siddy, P.: The changing face of refractory coatings in India. 68. SSK Chennai, Indie. 2008, PP-18, s. 439-444.
- [29] Rusín, K. a kol.: Slévárenské formovací materiály. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00278-8
- [30] Mikšovský, F.: Vady odlitků - systematika, studijní prezentace předmětu 632-0853/01, Kontrola a řízení jakosti odlitků.
- [31] Stötzel, R., Koch, Ch., Vondráček, R.: Dosažení lepší efektivity sléváren použitím nátěrů na formy a jádra připravených "na míru". Slévárenství, 2005, č.10, s.472 – 475.
- [32] Schütze, N., Reindl, H.: Motorenguss in höchster Qualität, Giesserei - Erfahrungsaustausch, 2010, č.1-2, s. 18 - 24.
- [33] Löblch, H.: 15. Ledebur Kolloquium im Freiberg - Neuentwicklung von Schichten zur Steigerung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Gießereien, Giesserei – Praxis, 2005, č.12, s. 457 - 460.
- [34] Stötzel, R., Koch, C., Kloskowski, M.: Schnell, treffsicher und nachhaltig, Giesserei – Praxis special, 2007, č.3, s. 88 - 90.
- [35] Giesserei–Praxis 1994-srpen, (23.4. 2011),  
<http://www.a-m.de/deutsch/literatur/gp0894.htm>



## Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1.	Chromitové ostřívo	9
Obr. 2.	Chromitové ostřívo	9
Obr. 3.	Modifikační přeměny oxidu křemičitého	10
Obr. 4.	Tvar a povrch zrna Grunden Las	11
Obr. 5.	Zrna po žihání na teplotě 1550 °C	11
Obr. 6.	Pryskyřice Kalharz: a) letní, b) zimní	12
Obr. 7.	Piktogram pro označování furanové pryskyřice	12
Obr. 8.	Aktivátor: a) letní, b) zimní, c) Piktogram PTS	13
Obr. 9.	Zásobníky křemičitého a chromitového písku	14
Obr. 10.	Magnetická separace	14
Obr. 11.	Fluidní lože	14
Obr. 12.	Schéma zařízení regenerace G.U.T.	15
Obr. 13.	Zařízení G.U.T	15
Obr. 14.	Drsný povrch	17
Obr. 15.	Povrchová připečenina	18
Obr. 16.	Hluboká spečenina	18
Obr. 17.	Rovnovážný diagram soustavy $\text{SiO}_2 - \text{FeO}$	19
Obr. 18.	Rovnovážný diagram soustavy $\text{SiO}_2 - \text{MnO}$	19
Obr. 19.	Reologické vlastnosti nátěrů	20
Obr. 20.	Schéma řezu lícními vrstvami formy (jádra)	20
Obr. 21.	Tvar plniva: a) zrnitý, b) destičkový, c) destičkový	21
Obr. 22.	Tvar plniva a vliv tvaru plniva na průchod plynů a kovu	22
Obr. 23.	Lesklý uhlík (LC)	30
Obr. 24.	Amorfní uhlík (AC)	30
Obr. 25.	Hexagonální test	34
Obr. 26.	Hexagonální test	34
Obr. 27.	Rovnovážný diagram soustavy $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$	37
Obr. 28.	Metalografický výbrus tenké připečené vrstvy odloupnuté z odlitku	37
Obr. 29.	Vzhled nátěru Hydrolac AL90	38
Obr. 30.	Vzhled nátěru Hydrolac DP 80 DC	38
Obr. 31.	Vzhled nátěru Arkofluid 6277	39
Obr. 32.	Vzhled nátěru Arkopal 6473	39
Obr. 33.	Tvar zrn zirkonu	40
Obr. 34.	Vzhled nátěru FQH 500	41
Obr. 35.	Vzhled nátěru Konfix ZK	41
Obr. 36.	Vzhled nátěru Konfix ZKR	42
Obr. 37.	Vzhled nátěru Teno Coating ZBBP 16	42
Obr. 38.	Kalibrované měřítko na měření tloušťky	43
Obr. 39.	Měření výtokové doby	43
Obr. 40.	Místa možného výskytu připečenin u odlitku A1	44
Obr. 41.	Připečeniny na reálném odlitku u odlitku A1	44
Obr. 42.	Místa možného výskytu připečenin u odlitku A2 a A3	46
Obr. 43.	Připečeniny na reálném odlitku u odlitku A2 a A3	46
Obr. 44.	Místa možného výskytu připečenin u odlitku A4 až A7	49
Obr. 45.	Připečeniny na reálném odlitku u odlitku A4 až A7	49

Obr. 46.	Místa možného výskytu pripečenin u odlitku A8 až A11	53
Obr. 47.	Pripečeniny na reálném odlitku u odlitku A8 až A11	53
Obr. 48.	Místa možného výskytu pripečenin u odlitku A12	57
Obr. 49.	Pripečeniny na reálném odlitku u odlitku A12	57
Obr. 50.	Místa možného výskytu pripečenin u odlitku A13	59
Obr. 51.	Pripečeniny na reálném odlitku u odlitku A13	59
Obr. 52.	Místa možného výskytu pripečenin u odlitku A14	61
Obr. 53.	Pripečeniny na reálném odlitku u odlitku A14	61
Obr. 54.	Řez nábojem-místa možného výskytu pripečen u odlitku A15	63
Obr. 55.	Pripečeniny na reálném odlitku u odlitku A15	63
Obr. 56.	Odlitek A1	44
Obr. 57.	Povrchu odlitku s Arkofluidem 6277	45
Obr. 58.	Povrchu odlitku s Hydrolacem AL90	45
Obr. 59.	Povrchu odlitku s Konfixem ZKR-ZK	45
Obr. 60.	Povrch odlitku s Teno Coatingem ZBBP16	45
Obr. 61.	Odlitek A2 a A3	46
Obr. 62.	Pripečeniny kolem nedostatečně upěchovaného čísla	47
Obr. 63.	Hranice mezi FQH-500 a Konfix ZKR-ZK	47
Obr. 64.	FQH-500-před tryskáním	47
Obr. 65.	Konfix ZKR-ZK-před tryskáním	47
Obr. 66.	Hranice mezi Konfixem ZKR-ZK a FQH-500	48
Obr. 67.	Hydrolac AL90-před tryskání	48
Obr. 68.	Explozivní penetrace po tryskání pod nátěrem Hydrolac AL90	48
Obr. 69.	Detail povrchu Konfix ZKR-ZK před tryskáním	48
Obr. 70.	Odlitek A4 až A7	49
Obr. 71.	Masivní pripečenina	50
Obr. 72.	Detail povrchu ložiska po otryskání	50
Obr. 73.	Explozivní penetrace v podobném místě jako u odlitku A4	50
Obr. 74.	Odstranění vady	50
Obr. 75.	Detail povrchu ložiska po otryskání	51
Obr. 76.	Lokální pripečeniny na otryskaném odlitku	51
Obr. 77.	Detail povrchu ložiska po tryskání	52
Obr. 78.	Hladký povrch odlitku	52
Obr. 79.	Odlitek A8 až A11	53
Obr. 80.	Detail povrchu ložiska	54
Obr. 81.	Tenká pripečenina v koutě odlitku	54
Obr. 82.	Detail pripečeniny v koutě ložiska	54
Obr. 83.	Detail explozivní tenké penetrace	54
Obr. 84.	Detail povrchu ložiska před otryskáním	55
Obr. 85.	Detail povrchu ložiska po otryskání	55
Obr. 86.	Detail povrchu ložiska po otryskání	56
Obr. 87.	Výronek na vnější ploše odlitku	56
Obr. 88.	Odlitek A12	56
Obr. 89.	Vyvažovaný povrch odlitku	58
Obr. 90.	Penetrace kovu ve spodní části odlitku	58
Obr. 91.	Zateklina	58
Obr. 92.	Detail plynových vad-nátěr Hydrolac AL90	58
Obr. 93.	Odlitek A13	59

Obr. 94.	Detail povrchu opatřeného nátěrem Hydrolac DP/80 CD	60
Obr. 95.	Povrch opatřený nátěrem Arkofluid 6277	60
Obr. 96.	Detail povrchu po tryskání – nátěr Hydrolac DP/80 CD	60
Obr. 97.	Detail povrchu po tryskání – nátěr Arkofluid 6277	60
Obr. 98.	Odlitek A14	61
Obr. 99.	Vady na odlitku A14	62
Obr. 100.	Vady na odlitku A14	62
Obr. 101.	Odlitek A15	63
Obr. 102.	Jádro číslo 1 u odlitku A15	64
Obr. 103.	Jádro číslo 2 u odlitku A15	64
Obr. 104.	Jádro číslo 3 u odlitku A15	64
Obr. 105.	Jádro číslo 4 u odlitku A15	65
Obr. 106.	Jádro číslo 5 u odlitku A15	65
Obr. 107.	Porovnání výskytu připečenin u jednotlivých lihových nátěrů	67
Obr. 108.	Porovnání výskytu připečenin u jednotlivých vodních nátěrů	68

Tabulka 1.	Dávkování pryskyřice	12
Tabulka 2.	Dávkování aktivátoru	13
Tabulka 3.	Výběr žáruvzdorných plniv a jejich vlastnosti	21
Tabulka 4.	Běžně používaná žáruvzdorná plniva	25
Tabulka 5.	Výběr méně používaných plniv a jejich hustot	26
Tabulka 6.	Charakteristika produktů 2 - stupňové pyrolýzy černého	30
Tabulka 7.	Charakteristiky jednotlivých metod nanášení	33
Tabulka 8.	Seznam použitých nátěrů a jejich vlastnosti dle výrobců	36
Tabulka 9.	Naměřené vlastnosti nátěrů u odlitku A1	44
Tabulka 10.	Naměřené vlastnosti nátěrů u odlitku A2	46
Tabulka 11.	Naměřené vlastnosti nátěrů u odlitku A3	47
Tabulka 12.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A4	49
Tabulka 13.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A5	50
Tabulka 14.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A6	51
Tabulka 15.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A7	52
Tabulka 16.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A8	53
Tabulka 17.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A9	54
Tabulka 18.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A10	55
Tabulka 19.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A11	55
Tabulka 20.	Naměřené vlastnosti nátěrů u odlitku A12	57
Tabulka 21.	Naměřené vlastnosti nátěrů u odlitku A13	59
Tabulka 22.	Naměřené vlastnosti nátěrů u odlitku A14	61
Tabulka 23.	Naměřené vlastnosti nátěru u odlitku A15	63
Tabulka 24.	Rozdělení sady norem dle České normy ČSN 12454:1998	66
Tabulka 25.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Teno Coating ZBBP16	66
Tabulka 26.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem FQH 500(Sheng Quan)	66
Tabulka 27.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Arkofluid 6277	67
Tabulka 28.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Hydrolac DP/80 CD	67
Tabulka 29.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Konfix ZKR-ZK	68
Tabulka 30.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Arkopal 6473	68
Tabulka 31.	Výskyt připečenin u odlitků s nátěrem Hydrolac AL90	68

## **Seznam příloh**

1. Požadavky VHM na chromitový písek
2. Požadavky VHM na křemenný písek
3. Seznam zkoumaných odlitků se všemi důležitými údaji.
4. Chemické složení jednotlivých taveb.
5. Kompletní přehled a vyhodnocení vad dle normy ČSN 12454:1998.

## Přílohy

### Příloha 1 - Požadavky VHM na chromitový písek

<b>Chemické složení:</b>	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	min. 45,0 %
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	max. 28,0 %
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	cca 15,5 %
	$\text{MgO}$	cca 10,0 %
	$\text{SiO}_2$	max. 2,0 %
	$\text{CaO}$	max. 0,2 %
	pH 4 [ml]	max. 4,0 ml

Střední zrno:	$d_{50} = 0,29 - 0,35 \text{ mm}$
stejnomořnost:	$d_{75}/d_{25} \cdot 100 = \text{min. } 50$
podíly pod 0,09 mm:	max. 0,5 %
podíly pod 0,02 mm:	max. 0,5 %
vlhkost:	max. 0,3 %

### Příloha 2 - Požadavky VHM na křemenný písek

<b>Chemické složení:</b>	$\text{SiO}_2$	min. 98 %
	$\text{CaO} + \text{MgO}$	max. 0,4 %
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	max. 0,2 %
	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	max. 0,2 %

Střední zrno:	$d_{50} = 0,35 - 0,40 \text{ mm}$
stejnomořnost:	min. 50
vyplavitelné látky:	max. 1 %
vlhkost:	max. 0,3 %

Příloha 3 – Seznam zkoumaných odlitků se všemi důležitými údaji.

č.p.	název odlitků	materiál odlitku	hrubá hm. [kg]	druh nátěru - FORMA	Ø tloušťka nátěru [mm]	druh nátěru - JÁDRO	Ø tloušťka nátěru [mm]
A1	Poklička	AREMA	16 500	1/4-Hydrolac AL90, 2/4-Arkofluid 6277 3/4-Teno Coating ZBBP16, 4/4-Konfix ZKR-ZK	0,73	Hydrolac AL90	nezměřeno
A2	Koule	2630	8 500	1/2-FQH 500, 2/2-Konfix ZKR-ZK	0,50	bez jader	bez jader
A3	Koule	2630	8 500	1/2-Hydrolac AL90, 2/2-Konfix ZKR-ZK	0,60	bez jader	bez jader
A4	Ložisko horní	GS52	5 000	Arkopal 6473	0,80	Arkopal 6473	0,70
A5	Ložisko horní	GS52	5 000	Arkopal 6473	0,70	Arkopal 6473	0,70
A6	Ložisko horní	GS52	5 000	Hydrolac AL90	0,50	Hydrolac AL90	0,50
A7	Ložisko horní	GS52	5 000	Teno Coating ZBBP16	0,50	Teno Coating ZBBP16	0,50
A8	Ložisko dolní	GS52	4 400	Konfix ZKR-ZK	0,70	Konfix ZKR-ZK	0,60
A9	Ložisko dolní	GS52	4 400	Konfix ZKR-ZK	0,50	Konfix ZKR-ZK	0,60
A10	Ložisko dolní	GS52	4 400	Teno Coating ZBBP16	0,65	Teno Coating ZBBP16	nezměřeno
A11	Ložisko dolní	GS52	4 400	Hydrolac AL90	0,50	Hydrolac AL90	0,50
A12	Hl. nástavec	AREMA	31 300	1/2-Hydrolac AL90, 2/2-Arkofluid 6277	0,50	1/2-Hydrolac AL90, 2/2-Arkofluid 6277	0,77
A13	Hl. nástavec	AREMA	51 600	1/2-Hydrolac DP/80 CD, 2/2-Arkofluid 6277	0,50	1/2-Hydrolac DP/80 CD, 2/2-Arkofluid 6277	0,80
A14	Hl. nástavec	AREMA	38 000	1/2-Konfix ZKR-ZK, 2/2-Arkopal 6473	0,54	1/2-Konfix ZKR-ZK, 2/2-Arkopal 6473	0,58
A15	Náboj IMPSA	A148GR80-50	127 000	-	-	Hydrolac AL90	0,69



Příloha 4 – Chemické složení jednotlivých taveb.

Odlitek A1			
Odpich..... 1.2.2011-00:20			
Číslo tavby..... E51241			
Hutní označení..... ČSN19 911-AREMA			
Značka..... 00.8704			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C		0,05	0,04
Mn	0,2	0,35	0,28
Si		0,2	0,11
P		0,02	0,007
S		0,02	0,004
Cu		0,15	0,13
Ni		0,3	0,13
Cr		0..20	0,06
Mo		0,1	0,04
V		0,1	0,001
Ti			0,002
Al	0,03	0,1	0,066

Odlitek A2 a A3			
Odpich.....14.2. 2011-05:26			
Číslo tavby.....E51328			
Hutní označení.....18630			
Značka.....00.8630			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,12	0,19	0,17
Mn	0,5	0,8	0,59
Si	0,3	0,5	0,35
P		0,03	0,005
S		0,03	0,002
Cu		0,3	0,15
Ni		0,5	0,25
Cr		0,3	0,16
Mo		0,1	0,08
V		0,1	0,002
Ti			0,002
Al	0,015	0,04	0,039

Odlitek A4 a A5			
Odpich..... 3.3. 2011-12:30			
Číslo tavby..... E34075			
Hutní označení..... GS52 (18650)			
Značka.....00.8650			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,3	0,37	0,33
Mn	0,5	0,8	0,69
Si	0,3	0,45	0,34
P		0,03	0,016
S		0,03	0,005
Cu		0,2	0,06
Ni		0,4	0,04
Cr		0,3	0,09
Mo		0,1	0,01
V		0,1	0,003
Ti			0,009
Al	0,015	0,035	0,021

Odlitek A6 a A10			
Odpich..... 9.3. 2011-14:15			
Číslo tavby..... E34079			
Hutní označení..... GS52 (18650)			
Značka.....00.8650			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,3	0,37	0,37
Mn	0,5	0,8	0,69
Si	0,3	0,45	0,34
P		0,03	0,018
S		0,03	0,007
Cu		0,2	0,06
Ni		0,4	0,06
Cr		0,3	0,15
Mo		0,1	0,01
V		0,1	0,003
Ti			0,009
Al	0,015	0,035	0,025
N			0,0066

Odlitek A7a A11			
Odpich..... 15.3. 2011-12:15			
Číslo tavby..... E34081			
Hutní označení..... GS52 (18650)			
Značka.....00.8650			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,3	0,37	0,34
Mn	0,5	0,8	0,62
Si	0,3	0,45	0,35
P		0,03	0,015
S		0,03	0,011
Cu		0,2	0,04
Ni		0,4	0,02
Cr		0,3	0,06
Mo		0,1	0
V		0,1	0,002
Ti			0,009
Al	0,015	0,035	0,026
N			0,0076

Odlitek A8 a A9			
Odpich..... 3.3. 2011-12:30			
Číslo tavby..... E34076			
Hutní označení..... GS52 (18650)			
Značka.....00.8650			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,3	0,37	0,32
Mn	0,5	0,8	0,65
Si	0,3	0,45	0,32
P		0,03	0,015
S		0,03	0,008
Cu		0,2	0,06
Ni		0,4	0,04
Cr		0,3	0,11
Mo		0,1	0,01
V		0,1	0,003
Ti			0,008
Al	0,015	0,035	0,022
N			0,0069

Odlitek A12			
Odpich.....31.1. 2011-22:29			
Číslo tavby.....E51240			
Hutní označení.... ČSN19 911-AREMA			
Značka.....00.8704			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C		0,05	0,03
Mn	0,2	0,35	0,25
Si		0,2	0,09
P		0,02	0,006
S		0,02	0,003
Cu		0,15	0,13
Ni		0,3	0,14
Cr		0,2	0,05
Mo		0,1	0,04
V		0,1	0,001
Ti			0,001
Al	0,03	0,1	0,067

Odlitek A13			
Odpich.....17.2.2011-19:00			
Číslo tavby.....E51361			
Hutní označení.... ČSN19 911-AREMA			
Značka.....00.8704			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C		0,05	0,04
Mn	0,2	0,35	0,23
Si		0,2	0,14
P		0,02	0,007
S		0,02	0,001
Cu		0,15	0,15
Ni		0,3	0,19
Cr		0,2	0,11
Mo		0,1	0,04
V		0,1	0,001
Ti			0,001
Al	0,03	0,1	0,053

Odlitek A13-dolívka			
Odpich.....17.2. 2011-21:17			
Číslo tavby.....E51362			
Hutní označení.... ČSN19 911-AREMA			
Značka.....00.8704			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C		0,05	0,04
Mn	0,2	0,35	0,27
Si		0,2	0,17
P		0,02	0,006
S		0,02	0,001
Cu		0,15	0,15
Ni		0,3	0,18
Cr		0,2	0,09
Mo		0,1	0,04
V		0,1	0,001
Ti			0,001
Al	0,03	0,1	0,035

Odlitek A14			
Odpich.....23.2. 2011-06:21			
Číslo tavby.....E51395			
Hutní označení.... ČSN19 911-AREMA			
Značka.....00.8704			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C		0,05	0,04
Mn	0,2	0,35	0,23
Si		0,2	0,15
P		0,02	0,003
S		0,02	0,003
Cu		0,15	0,1
Ni		0,3	0,13
Cr		0,2	0,05
Mo		0,1	0,04
V		0,1	0,001
Ti			0,001
Al	0,03	0,1	0,06

Odlitek A15-tavba č.1.			
Odpich.....27.2. 2011-23:48			
Číslo tavby.....E51415			
Hutní označení.....A148Grade80-50			
Značka.....90.8713			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,2	0,23	0,2
Mn	1,2	1,3	1,22
Si	0,4	0,55	0,45
P		0,015	0,007
S		0,005	0,002
Cu		0,3	0,13
Ni	0,3	0,4	0,32
Cr	0,2	0,25	0,22
Mo	0,11	0,15	0,13
V	0,04	0,06	0,043
Ti			0,012
Al	0,015	0,03	0,028

Odlitek A15-tavba č.2.			
Odpich..... 28.2. 2011-02:06			
Číslo tavby..... E51416			
Hutní označení..... A148Grade80-50			
Značka..... 90.8713			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,2	0,23	0,2
Mn	1,2	1,3	1,24
Si	0,4	0,55	0,46
P		0,015	0,006
S		0,005	0,002
Cu		0,3	0,16
Ni	0,3	0,4	0,33
Cr	0,2	0,25	0,22
Mo	0,11	0,15	0,12
V	0,04	0,06	0,045
Ti			0,01
Al	0,015	0,03	0,03

Odlitek A15-dolívačka č.1.			
Odpich..... 28.2. 2011-07:15			
Číslo tavby.....E34074			
Hutní označení.....GS-20-Mn5+Ni			
Značka.....20.8712			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,17	0,22	0,19
Mn	1,2	1,5	1,31
Si	0,3	0,6	0,49
P		0,012	0,012
S		0,008	0,004
Cu		0,3	0,08
Ni	0,25	0,4	0,26
Cr		0,25	0,15
Mo		0,15	0,01
V		0,03	0,003
Ti			0,002
Al	0,015	0,035	0,031

Odlitek A15-dolívačka č.2.			
Odpich..... 28.2. 2011-09:17			
Číslo tavby.....E51419			
Hutní označení.....GS-20Mn5			
Značka.....00.8712			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,18	0,22	0,21
Mn	1,2	1,4	1,33
Si	0,35	0,5	0,37
P		0,015	0,008
S		0,015	0,002
Cu		0,3	0,17
Ni		0,4	0,14
Cr		0,25	0,21
Mo		0,1	0,05
V		0,03	0,003
Ti			0,002
Al	0,02	0,04	0,022

Odlitek A15-tavba č.3			
Odpich..... 28.2. 2011-04:26			
Číslo tavby..... E51417			
Hutní označení..... A148Grade80-50			
Značka..... 90.8713			
Prvek	V <sub>min.</sub>	V <sub>max.</sub>	Skut. hodnota
C	0,2	0,23	0,22
Mn	1,2	1,3	1,21
Si	0,4	0,55	0,44
P		0,015	0,005
S		0,005	0,002
Cu		0,3	0,17
Ni	0,3	0,4	0,31
Cr	0,2	0,25	0,22
Mo	0,11	0,15	0,13
V	0,04	0,06	0,049
Ti			0,003
Al	0,015	0,035	0,023

Příloha 5 – Kompletní přehled a vyhodnocení vad dle normy ČSN 12454:1998.

č.p.	Název odlitků	Druh nátěru	Drsnosti povrchu	Bubliny	Přípečeniny
A1	Poklička	1/4-Hydrolac AL90	A2	C4	bez vad
		2/4-Arkofluid 6277	A2	C3	bez vad
		3/4-Teno Coating ZBBP16	A1	C1	bez vad
		4/4-Konfix ZKR-ZK	A1	C2	bez vad
A2	Koule	1/2-FQH 500(Sheng Quan)	A1	bez vad	bez vad
		2/2-Konfix ZKR-ZK	A1	bez vad	E3
A3	Koule	1/2-Hydrolac AL90	A2	bez vad	E5
		2/2-Konfix ZKR-ZK	A1	bez vad	E3
A4	Ložisko horní	Arkopal 6473	A2	C1	E5
A5	Ložisko horní	Arkopal 6473	A2	C1	E5
A6	Ložisko horní	Hydrolac AL90	A2	C1	E5
A7	Ložisko horní	Teno Coating ZBBP16	A1	bez vad	bez vad
A8	Ložisko dolní	Konfix ZKR-ZK	A1	bez vad	E3
A9	Ložisko dolní	Konfix ZKR-ZK	A2	bez vad	E3
A10	Ložisko dolní	Teno Coating ZBBP16	A1	bez vad	bez vad
A11	Ložisko dolní	Hydrolac AL90	A2	C1	E5
A12	Hl. nástavec	1/2-Hydrolac AL90	A2	C4	E5
		2/2-Arkofluid 6277	A1	C1	E5
A13	Hl. nástavec	1/2-Hydrolac DP/80 CD	A1	C1	bez vad
		2/2-Arkofluid 6277	A1	C1	bez vad
A14	Hl. nástavec	1/2-Konfix ZKR-ZK	A2	C4	E5
		2/2-Arkopal 6473	A2	C4	E5
A15	Náboj IMPSA	Hydrolac AL90	NEHODNOCEN		